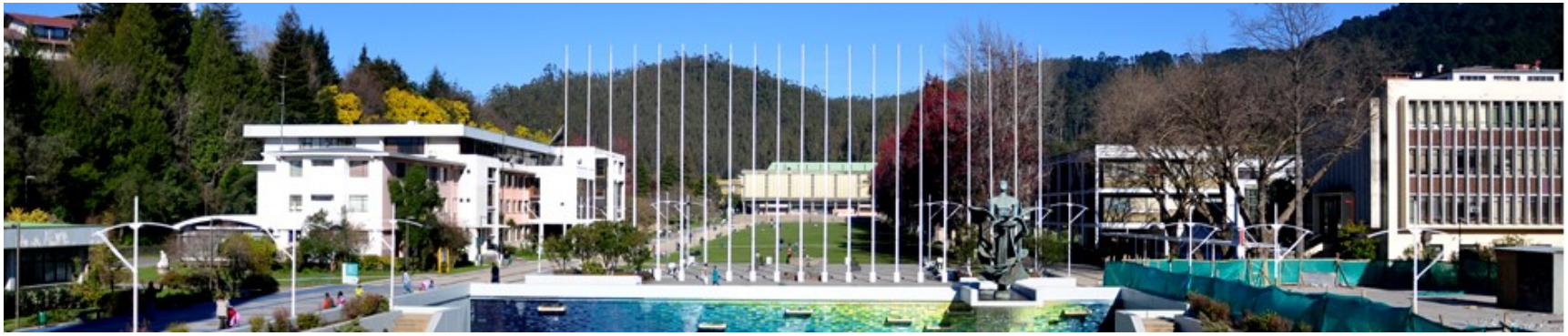
Fundamentos de Tribología



Gabriel Barrientos. Junio 2026

ANALISIS DE ACEITE

TÉCNICAS USADAS EN ANÁLISIS DE DESGATE

Categoría	Técnica / Método	Qué mide o detecta	Normas / Equipos típicos	Observaciones clave
Físico-químico	Viscosidad cinemática	Grado de fluidez a una T°	ISO 3104 / ASTM D445	Cambios indican degradación o contaminación.
	TAN – Núm. de Acidez Total	Nivel de oxidación y ácidos	ASTM D664	Aumenta con la degradación.
	TBN – Núm. Básico Total	Reserva alcalina (aceites motor)	ASTM D2896	Disminuye con la neutralización de ácidos.
	Punto de inflamación	Temperatura de combustión	ISO 2592 / ASTM D92	Baja si hay dilución de combustible.
	Contenido de agua (Karl-Fisher)	Agua libre y disuelta	ASTM D6304	ISO 4406: se codifica en ppm.
Contaminación	Conteo de partículas (óptico o láser)	N° y tamaño de partículas	ISO 4407, ISO 11500	Resultado en clase ISO 4406.
	Análisis de agua por crackle	Presencia de agua libre	Método rápido de campo	Cualitativo.
Espectrometría	ICP-OES (plasma)	Metales de desgaste, aditivos, contaminantes	ASTM D5185	Detecta partículas < 5–10 µm.
	Espectrometría de emisión atómica (RDE)	Igual que ICP, más económico	ASTM D6595	Portátil, ideal para rutina.
	XRF (fluorescencia de rayos X)	Elementos metálicos y aditivos	ASTM D6481	No requiere dilución, buena para sólidos.
Partículas grandes	Análisis ferrográfico (ferrografía analítica)	Morfología y fuente de partículas > 10 µm	ISO 16232	Microscopía óptica/electrónica.
	Filtración + microscopio	Conteo y clasificación visual de partículas	ISO 4407	Laboratorio.
Desgaste severo	Espectrometría de absorción atómica (AAS)	Metales traza	Método menos usado hoy	Requiere digestión ácida.
Diélectrico / físico	Resistividad dieléctrica	Calidad de aislamiento (aceites eléctricos)	IEC 60247	Usado en transformadores.
Campo / rápidas	Kits de medición rápida (TAN, TBN, viscosidad)	Parámetros clave en sitio	Varios kits comerciales	Resultados orientativos.

Mal olor
OXIDACION
Oscurecimiento
Incremento de acidez
Incremento de viscosidad
Oxidación por FTIR

OXIDACION	
1. ¿Qué es?	Reacción química entre el aceite y el oxígeno del aire (potenciada por el calor, metales y agua) que produce ácidos, barnices y lodos.
2. ¿Por qué pasa?	• Temperatura elevada (cada 10 °C duplica la velocidad).
	• Presencia de catalizadores: cobre, hierro, agua, contaminantes.
	• Tiempo de uso demasiado extenso.
3. ¿Qué genera?	• Aumento de **viscosidad** (aceite más espeso).
	• Formación de **ácidos** (TAN elevado) que atacan metales.
	• **Lodos y barnices** que obstruyen conductos y filtros.
	• Pérdida de aditivos y de propiedades EP/AW.
4. ¿Cómo se detecta?	• Ensayos: viscosidad (ASTM D445), número de acidez (ASTM D664), FTIR (picos de C y O), contenido de agua.
5. Consecuencia directa	Menor protección → más desgaste → fallo prematuro del equipo.

La **oxidación** es la "enfermedad" que envejece al aceite y se acelera con el calor y la suciedad.

Oxidación vs. Falla Térmica: ¿Por qué se degrada su lubricante?

compara dos procesos críticos de degradación del aceite: la **oxidación**, impulsada por la interacción del calor con el oxígeno, y la **falla térmica**, provocada exclusivamente por el calor extremo (en ausencia de oxígeno). Ambos procesos generan subproductos dañinos, pero presentan indicadores diagnósticos distintos.

FALLA POR OXIDACIÓN

ORIGEN DE LA FALLA

El aceite falla por la acción combinada del calor y el oxígeno.

FALLA TÉRMICA

ORIGEN DE LA FALLA

El aceite falla únicamente por exposición al calor extremo (atmósfera de nitrógeno).

Atmósfera de nitrógeno (N_2)

INDICADORES EXCLUSIVOS

- Incremento de acidez
- Contaminación por agua
- Alto contenido de metales

SÍNTOMAS COMPARTIDOS

- Lodos
- Barnices
- Carbonización
- Oscurecimiento del aceite

INDICADOR EXCLUSIVO

- Formación de suspensiones grasas

COMPARATIVA RÁPIDA: INDICADORES QUÍMICOS

Oxidación (Calor + O_2)		Falla Térmica (Solo Calor)
Incremento notable	Acidez	No es un indicador clave
Incremento o disminución	Viscosidad	Incremento
No presentes	Suspensiones	Suspensiones grasas

Técnicas de análisis de aceite

Técnica	Principio (muy breve)	¿Qué mide?	Norma(s) más usadas
Viscosidad cinemática	Tiempo que tarda un volumen fijo en caer por un capilar a T° controlada.	Grosor / fluidez del aceite.	ASTM D445
Potenciómetro (TAN)	Valoración ácido-base; se detecta el punto de inflexión.	Nivel de ácidos formados por oxidación.	ASTM D664 / D974
Karl Fischer (volumétrico o coulométrico)	Reacción química $I_2 + SO_2 + H_2O \rightarrow$ productos cuantificables.	Contenido de agua (ppm).	ASTM D6304
Espectrometría ICP	Plasma excita átomos; se miden sus longitudes de onda.	Metales de desgaste y aditivos (ppm).	ASTM D5185
FTIR (Infra-rojo)	Absorción de luz IR por grupos funcionales.	Oxidación, sulfatación, contaminación de combustible.	ASTM E2412
Contador de partículas óptico	Sombra / desviación de haz láser.	N° y tamaño de partículas sólidas → código ISO 4406.	ISO 11500
Análisis gravimétrico de sedimentos	Filtración, lavado y pesada del residuo.	Contenido total de sólidos insolubles.	ASTM D4898
GC (Cromatografía de gases)	Volatilización y separación en columna; detector FID.	Dilución por combustible (gasóleo/gasolina).	ASTM D3524 / D3525
Índice de base (potenciométrico)	Valoración ácida hasta punto final.	Capacidad de neutralizar ácidos (motores diésel).	ASTM D2896
PQ-Index	Magnetómetro sensibilidad alta.	Partículas ferromagnéticas grandes (≥ 5 µm).	método normalizado internamente

Índice PQ (Particle Quantifier Index)

Concepto	Observación
¿Qué es?	Valor adimensional que indica la **cantidad total de partículas ferromagnéticas** (hierro, acero) presentes en una muestra de aceite o grasa.
Principio de medición	El instrumento expone la muestra a un **campo magnético constante**. Las partículas ferrosas distorsionan ese campo; la magnitud de la distorsión se traduce en el indice PQ.
Tamaño de partícula relevante	Detecta desde ≈ **5 µm hasta varios cientos de micras**, cubriendo el rango que otros métodos (ICP) suelen perder.
Unidades / escala	Número arbitrario (ej. 0-1000). Normalmente: <25 = bajo desgaste; 25-50 = atención; >50 = desgaste acelerado.
Ventaja frente a ICP	El espectrometría ICP solo ve partículas <10 µm; el PQ **identifica las grandes** que indican fallas incipientes .
Aplicación típica	Diagnóstico predictivo en motores, cajas de engranajes, sistemas hidráulicos y transmisiones.

El índice PQ actúa como un "contador de virutas grandes de metal"; cuanto más alto, mayor probabilidad de un desgaste severo en curso.

TÉCNICAS USADAS EN ANÁLISIS DE DESGATE

Categoría	Sigla / Técnica	Nombre completo (o concepto)	Qué mide / para qué sirve	Norma / equipo típica
Propiedades físico-químicas	COC	Cleveland Open Cup (punto de inflamación abierto)	Temperatura a la que el aceite desprende vapores inflamables	ASTM D92 / ISO 2592
	WPC	Water Panel Colorimétrico (ensayo rápido de agua)	Agua libre o emulsionada (forma semi-cuantitativa)	Kits de campo
	WPA	Water by Pressure / Crackle Test	Agua libre (prueba cualitativa de campo)	Método interno
Contaminación y partículas	DR	Dilution Ratio (o "Fuel Dilution")	% de dilución de combustible en aceite	ASTM D7593 (GC) o IR
	UC	Conteo de partículas (ISO 4406 / NAS / SAE)	Nº y tamaño de partículas sólidas	ISO 4407 óptico o láser
Metales y aditivos (espectrometría)	ICP	Inductively-Coupled Plasma (OES óptico)	Metales de desgaste (< 5–10 µm), aditivos, contaminantes	ASTM D5185
	XRF	X-Ray Fluorescence	Metales y aditivos (también sólidos grandes)	ASTM D6481
	AES	Atomic Emission Spectroscopy (RDE)	Igual que ICP, versión portátil	ASTM D6595
	AAS	Atomic Absorption Spectroscopy	Metales traza (uso declinante)	ASTM D4628
Degradación molecular	FTIR	Fourier-Transform Infrared Spectroscopy	Oxidación, nitración, sulfatación, refrigerante, combustible, aditivos	ASTM E2412
Estabilidad a la oxidación	FBOT / RPVOT	Rotating Pressure Vessel Oxidation Test	Tiempo de vida remanente frente a la oxidación	ASTM D2272
Propiedades químicas clásicas	TAN	Total Acid Number	Acidez (oxidación)	ASTM D664
	TBN	Total Base Number	Reserva alcalina (aceites motor)	ASTM D2896
Pruebas rápidas de campo	IPQ	Índice de Pureza Química (kits comerciales)	Viscosidad + TAN/TBN + agua rápido	Kits de laboratorio móvil

- **COC y WPC/WPA se separan en "propiedades físico-químicas" y "contaminación agua" respectivamente.**
- **DR (Fuel Dilution) se agrupa con contaminación porque indica presencia de combustible.**
- **UC (Particle Count) es el conteo de partículas sólidas.**
- **ICP, XRF, AES y AAS son variantes de espectrometría para metales y aditivos**

1

Tome una asprina

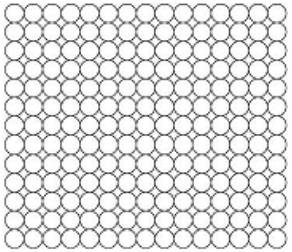
225 mg

2

Conviértala en polvo

3

Divídala en 225 partes iguales



4

Ponga una de las partes en un litro de líquido

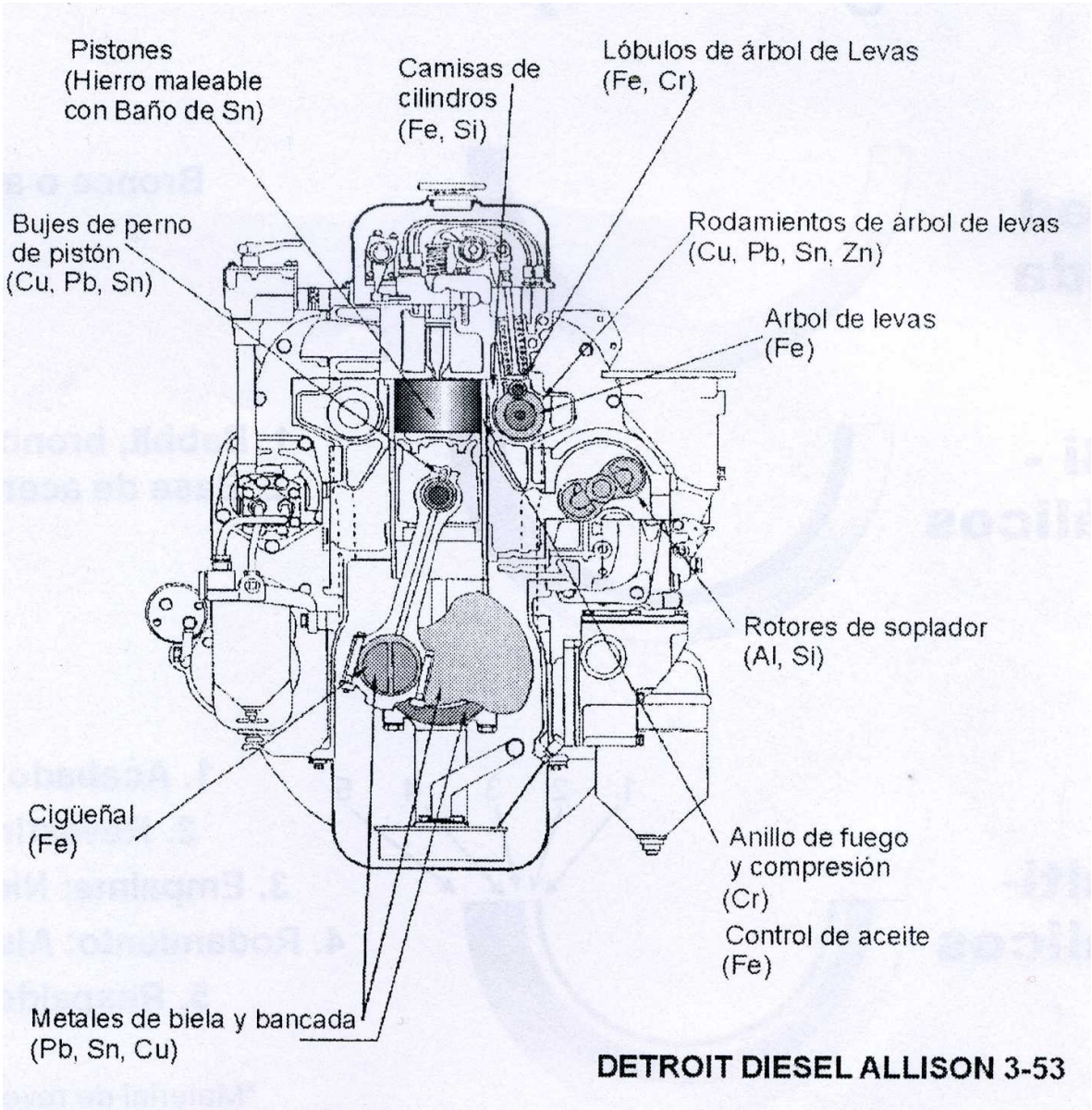
1 ppm
(aproximadamente igual a ISO 16/13)

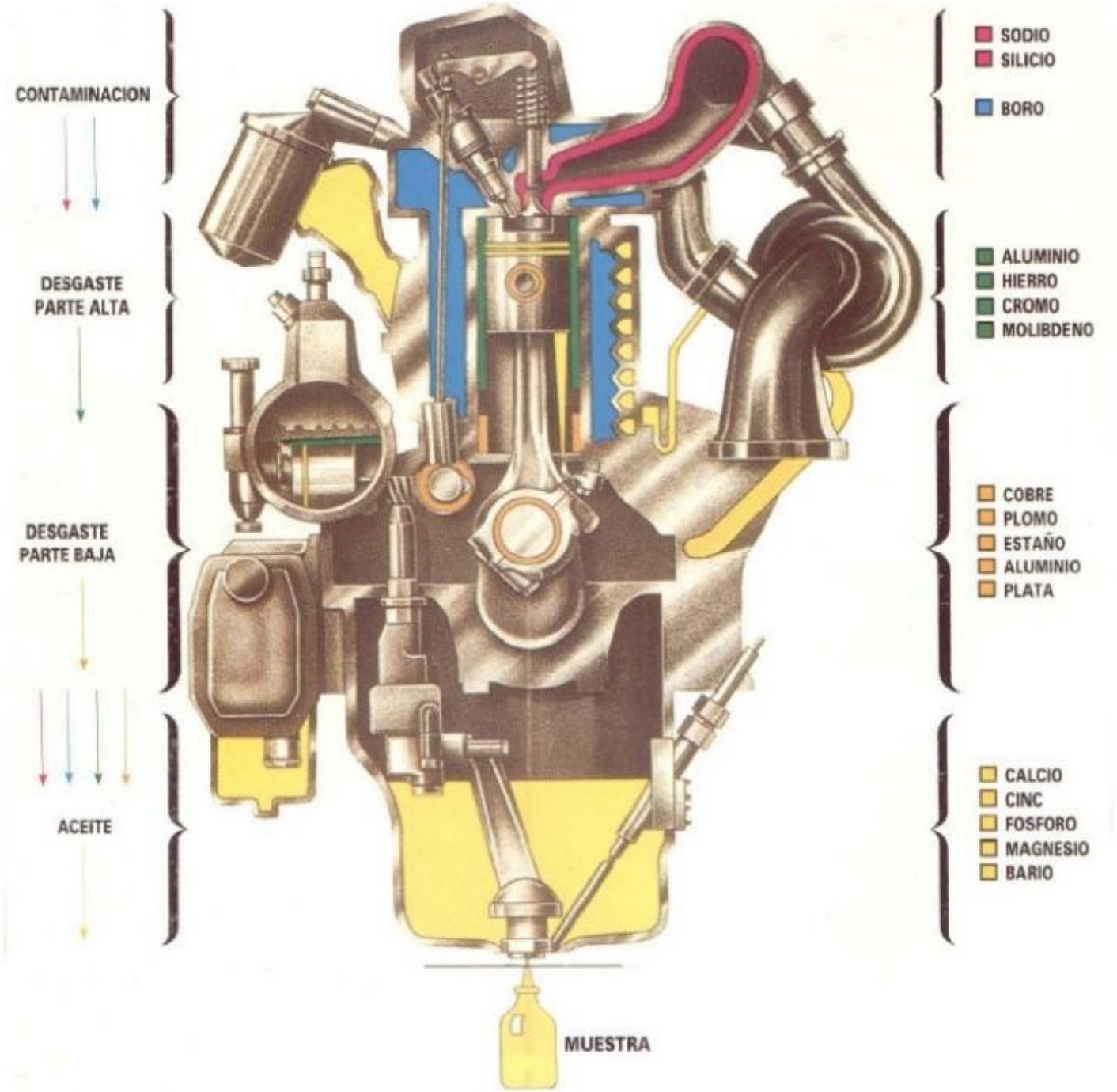
6.2. Espectrofotometría de absorción atómica

Este análisis, en conjunto con el conteo de partículas, es el más popular en la implementación de programas de mantenimiento predictivo, debido a que en los centros industriales, los proveedores de lubricante ofrecen el servicio como un valor agregado a la venta.

El principio básico consiste en someter la muestra de lubricante a una fuente alto voltaje (15 kV) en la cual se calienta y libera energía. Fenómenos especiales de radiación se generan, en los cuales se pueden diferenciar y asignar las radiaciones a diferentes frecuencias a elementos específicos constituyentes del lubricante. La intensidad de radiación a una frecuencia específica es proporcional a la concentración de su respectivo elemento.

ANÁLISIS ESPECTROMÉTRICO


Pistones
(Hierro maleable
con Baño de Sn)
Camisas de
cilindros
(Fe, Si)
Lóbulos de árbol de Levas
(Fe, Cr)
Bujes de perno
de pistón
(Cu, Pb, Sn)
Rodamientos de árbol de levas
(Cu, Pb, Sn, Zn)
Arbol de levas
(Fe)
Rotores de soplador
(Al, Si)
Cigüeñal
(Fe)
Anillo de fuego
y compresión
(Cr)
Control de aceite
(Fe)
Metales de biela y bancada
(Pb, Sn, Cu)
DETROIT DIESEL ALLISON 3-53


CONTAMINACION
DESGASTE PARTE ALTA
DESGASTE PARTE BAJA
ACEITE
SODIO
SILICIO
BORO
ALUMINIO
HIERRO
CROMO
MOLIBDENO
COBRE
PLOMO
ESTAÑO
ALUMINIO
PLATA
CALCIO
CINC
FOSFORO
MAGNESIO
BARIO
MUESTRA

6.4. Composición de partículas

Se identifican seis categorías de partículas:

1. Partículas blancas no ferrosas: frecuentemente son aluminio o cromo. Aparecen blancas brillantes antes y después del tratamiento térmico. Están depositadas aleatoriamente en la plaqueta con grandes partículas detenidas por las cadenas de las partículas ferrosas.

2. Partículas de cobre: usualmente aparecen como amarillo brillante antes y después del tratamiento térmico, aunque puede cambiar a verdegris. Esta también estará depositada aleatoriamente en la plaqueta con partículas grandes a la entrada y pequeñas a la salida.

3. Partículas del babbitt: consisten en partículas delgadas de color gris (se ven como trozos de lata). Después del tratamiento siguen grises pero con puntos azules y rojos, y mas pequeñas con apariencia motosa. Su distribución es aleatoria.

4. Contaminantes: usualmente son residuos de polvo principalmente silicio. Aparecen como unos cristales que son fácilmente identificados con la luz transmitida (verde). Su distribución es aleatoria.

5. Fibras: causadas por desprendimientos de filtros y contaminación externa. Son largas cadenas en variedad de colores y usualmente no cambian su apariencia después del tratamiento térmico. Algunas veces esas partículas actúan como filtro colectando otras partículas. Pueden aparecer en cualquier parte del ferrograma, aunque tienden a estar en la salida.

6. Partículas ferrosas: se identifican principalmente usando la luz roja (reflejada) y la luz blanca del microscopía. La luz transmitida es totalmente bloqueada por la partícula. Se dividen en cinco diferentes categorías:

   a) Acero de alta aleación: las partículas son encontradas en cadenas de color gris-blanco antes y después del tratamiento. La forma de diferenciar entre los aceros con alta aleación y las partículas blancas no ferrosas es la posición en la plaqueta. Si aparece en cadena es un acero, de otro modo es considerado un blanco no ferroso. Su aparición en ferrogramas es rara (es lo último que se espera que se desgaste).

   b) Acero de baja aleación: las partículas se encuentran en cadenas grisblancas, pero después de tratamiento térmico aparecen azules, rosas o rojas.

   c) Óxidos metálicos negros: depositados en cadenas de color gris oscuro o negros antes y después del tratamiento térmico. La cantidad de negro determina la severidad de oxidación.

d) Fundición de hierro: aparece gris antes del tratamiento y amarillo opaco después.

e) Óxidos rojos (Herrumbre): la luz polarizada los identifica rápidamente. Pueden ser encontrados en cadenas con otras partículas ferrosas o depositadas aleatoriamente en la plaqueta. Una gran cantidad de óxidos rojos de pequeño tamaño en la salida de la plaqueta son consideradas como un signo de desgaste corrosivo. Aparece como una playa de arena roja.

6.3. Ferrografía analítica

La ferrografía analítica se posiciona como una de las técnicas más importantes para el análisis de aceite. Cuando es implementada correctamente provee gran información de causa raíz. A pesar de sus capacidades es frecuentemente excluida de los programas de análisis de aceites, debido a que comparativamente, es bastante costosa. Además, es una prueba que requiere tiempo, paciencia y alta habilidad (muy buen ojo) por parte del analista.

El principio de la ferrografía analítica consiste en separar sistemáticamente el material particulado suspendido en el lubricante, sobre una plaqueta de vidrio. La plaqueta es examinada bajo el microscopio para distinguir tamaño, concentración, composición, morfología y condición superficial de las partículas ferrosas y no ferrosas que caracterizan el desgaste. El examen detallado descubre los misterios de las condiciones de desgaste anormal apuntándolo hacia el componente fuente, con un excelente acercamiento a la causa raíz del problema.

Material	Posible origen
Silicio	polvo, aditivos antiespumantes
Calcio	polvo, aditivos detergentes
Bario	Magnesio: aditivos detergentes
Hierro	engranajes y rodamientos
Cobre	babbitt de cojinetes de fricción o separadores de rodamientos
Cromo	anillos y camisas de pistón
Aluminio	pistones
Estaño, Cobre, Plata	cojinetes
Plomo	contaminación con gasolina
Vanadio, Sodio	combustible quemado

Fuentes Potenciales de Metales en el Aceite

Hierro
- Acero
- Hierro fundido
- Herrumbre
- Rebabas
- Cascarillas de molienda
- Polvo mineral
- Cenizas
- Pintura
- Polvo de papelera
- Asbestos
- Talco
- Ceoilta
- Detergente limpiador

Cromo
- Revestimiento de anillos
- Pinturas
- Acero inoxidable

Cobre
- Aditivo AW
- Bronce
- Latón
- Cajas de rodamientos
- Enfriadores
- Minas de cobre
- Pinturas
- Babbit

Níquel
- Aleación de acero inoxidable
- Cromado
- Estelita (cobalto – níquel)
- Aleaciones de aceros duros

Estaño
- Caja de baleros (bronce)
- Soldadura
- Babbit

Plata
- Acabado de cojinetes
- Soldadura
- Algunos baleros de aguja

Aluminio
- Polvo de camino
- Metal de rodamientos
- Pinturas
- Abrasivos
- Plantas de aluminio
- Contaminantes de carbón
- Cenizas
- Polvo de fundición
- Alúmina activada
- Bauxita
- Granito
- Catalizador

Plomo
- Babbit
- Revestimiento de chumaceras
- Aditivo de gasolina
- Pintura soldadura

Titanio
- Rodamientos de turbinas de gas
- Pinturas
- Aspas de turbinas

Vanadio
- Aspas de turbinas
- Válvulas

Silicio
- Polvo de camino
- Sellador
- Aditivo antiespumante
- Aleación de aceros
- Lubricante sintético
- Frenos húmedos
- Fabricación de vidrio
- Aditivo refrigerante
- Polvo de fundición
- Fibras de filtros (vidrio)
- Cenizas
- Escoria
- Mica
- Polvo de cemento
- Asbestos
- Granito
- Calizas
- Talco

Boro
- Inhibidor de refrigerante
- Aditivo EP
- Agente de limpieza de barriles
- Acido bórico (tratamiento de aguas)

Sodio
- Inhibidor de refrigerante
- Agua de mar
- Algunos aditivos
- Grasa
- Aceite básico (trazas)
- Tierra
- Polvo de camino
- Sal (sal del camino)
- Cenizas
- Alúmina activada
- Polvo de papelera

Potasio
- Inhibidor de refrigerante
- Cenizas
- Polvo de papelera
- Polvo de camino
- Granito

Fósforo
- Aditivo AW / EP
- Acabado de superficie en algunos engranes
- Detergente limpiador

Calcio
- Agua dura
- Agua salada
- Aditivo de aceite de motor
- Polvo de minas
- Grasa
- Caliza
- Escoria
- Hules
- Tierras Fuller
- Lignita
- Polvo de cemento
- Polvo del camino
- Gypsum
- Inhibidor de herrumbre
- Detergente

Zinc
- Aditivo AW
- Bronce
- Cromado
- Galvanizado

Magnesio
- Agua dura
- Aditivo de motor
- Metalurgia de turbinas
- Agua salada
- Tierras Fuller
- Polvo de camino

Molibdeno
- Aditivo EP
- Aleaciones de metal
- Anillos

Bario
- Aditivo de motor
- Grasa

Después de la clasificación e identificación de la composición el analista pondera el tamaño de las partículas usando una escala micrométrica en el ocular del microscopio. Partículas con un tamaño mayor de 30 micras definen condiciones severas o anormales. Frecuentemente la forma de la partícula es una clave importante sobre el origen del desgaste.

¿La partícula es laminar o rugosa? Las partículas laminares indican aplastamiento en las áreas de rodamientos por alta presión o contacto lateral.

¿La partícula tiene una forma curva similar a una hoz?. Esto caracteriza desgaste cortante producido por contaminantes abrasivos.

¿Tiene la partícula estrías en su superficie?. Las estrías son signos de desgaste por arrastre sin lubricación. Puede ser generado en un área donde ocurren arranques de superficies metálicas.

¿La partícula es esférica oscura con centro blanco?. Las esferas son generadas en presencia de fatiga en los rodamientos. Un incremento en ellas indica exfoliación.

Cuadro 3.5: Contaminación del aceite de un motor

Tipo de Contaminante	Fuentes típicas	Posible problema
Partículas metálicas	Desgaste del motor	Abrasión contínua, fatiga, falta de lubricante
Oxidos metálicos	Desgaste de motor y corrosión	Abrasión, fatiga, corrosión
Arena y polvo	Fuga de gases de la combustión	Abrasión, fatiga
Hollín	Fuga de gases de la combustión	Degradación de lubricante, depósitos, falla de vibración
Combustible	Fuga de gases de la combustión	Degradación del lubricante falla de viscosidad
Agua	Fuga de gases de la combustión	Corrosión degradación del lubricante
Acidos	Fuga de gases de la combustión y falla de lubricante	Corrosión, degradación del lubricante

6.5. Conteo de partículas

Se utiliza un instrumento basado en óptica láser, capaz de medir partículas de tamaño mayor a $2\mu m$ presentes en una muestra de aceite sin especificar el tipo de material. Trabajan en base a normas internacionales de filtración tales como: ISO 4406 y NAS 1638.

La más usada en chile es la norma ISO que permite clasificar partículas en tres rangos de tamaño: $\geq 2\mu m$, $\geq 5\mu m$, $\geq 15\mu m$.

Cuadro 6.1: Recomendaciones

Máquina	Código ISO
Rodamiento de bolas	15/13/11
Rodamientos de rodillos	16/14/12
Cojinetes lisos	17/15/12
Caja engranajes industrial	17/15/12
Caja engranajes móvil	17/16/13
Motor Diesel	17/16/13
Turbina de vapor	18/15/12
Máquina de papel	19/16/13

Ejemplo de un conteo de partículas (cerca de 1 ppm)	
Tamaño (micrones)	Cantidad de partículas mayores que (por ml)
1	1752
2	1396
5	517
10	144
15	55
20	25
50	1.3
75	0.27
100	0.08

$$R_2/\underbrace{R_5/R_{15}}$$

USO ESTANDAR DE NORMA ISO

517 partículas> 5µm/ml

55 partículas> 15µm/ml

ISO 16/13

Cantidad de partículas por ml		Número de Rango (R)
Mayores que	Hasta e inclusive	
80000 >	160000 ≤	24
40000	80000	23
20000	40000	22
10000	20000	21
5000	10000	20
2500	5000	19
1300	2500	18
640	1300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2.5	5	9
1.3	2.5	8
0.64	1.3	7
0.32	0.64	6
0.16	0.32	5
0.08	0.16	4
0.04	0.08	3
0.02	0.04	2
0.01	0.02	1

ISO 4406

Particularidadesdel código ISO

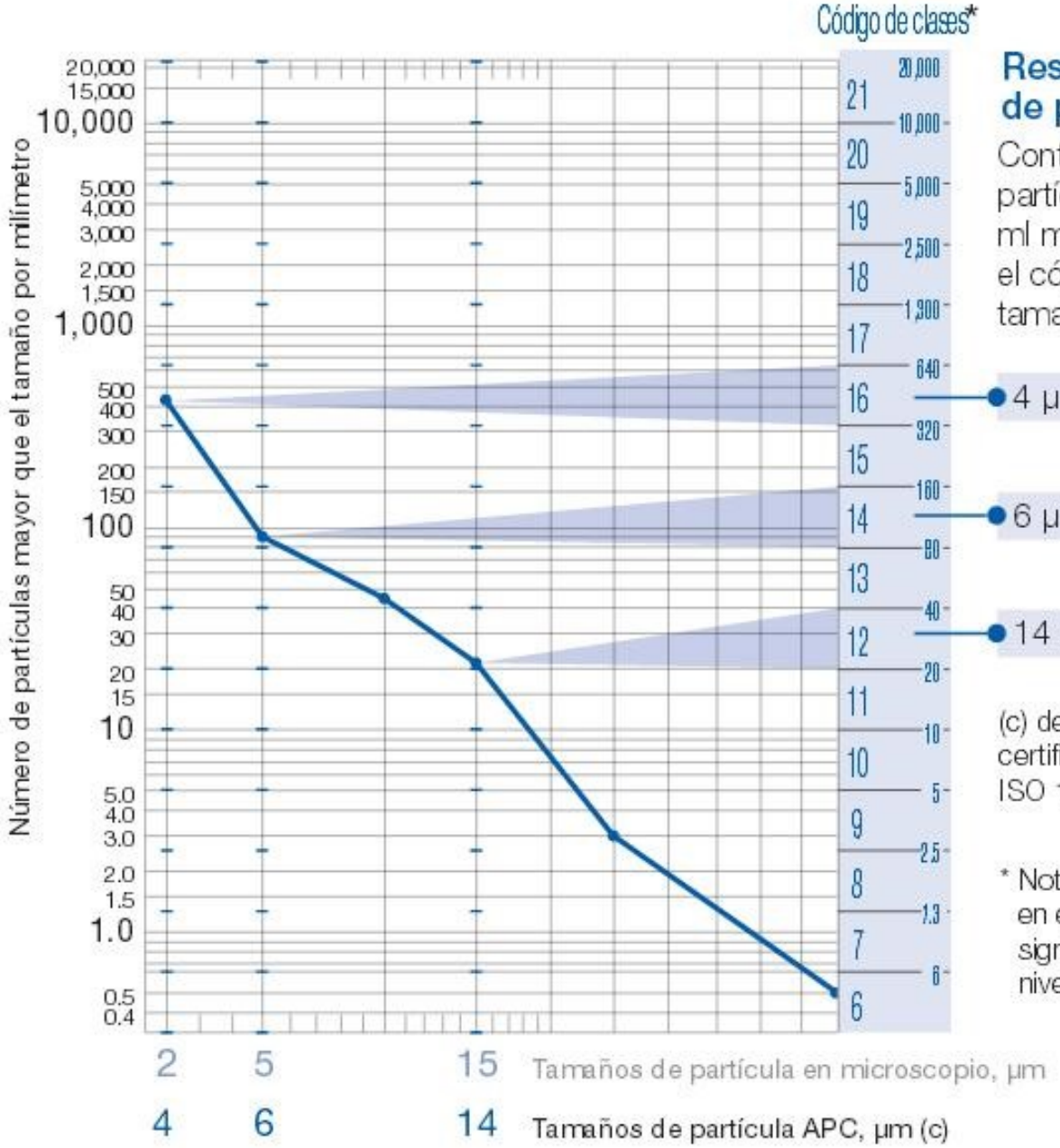
2µm	5µm	15µm	ISO Code
2501	321	41	19/16/13
5000	640	80	19/16/13
5001	641	81	20/17/14
10000	1300	160	20/17/14

Una particula más

4X partículas más

Cambios planeados:

$$R_4/R_6/R_{14}$$



Resumen de conteo de partículas

Conteo de partículas por ml mayor que el código de tamaño		ISO 4406 Código de clase
4 µm(c)	430	16
6 µm(c)	90	14
14 µm(c)	22	12

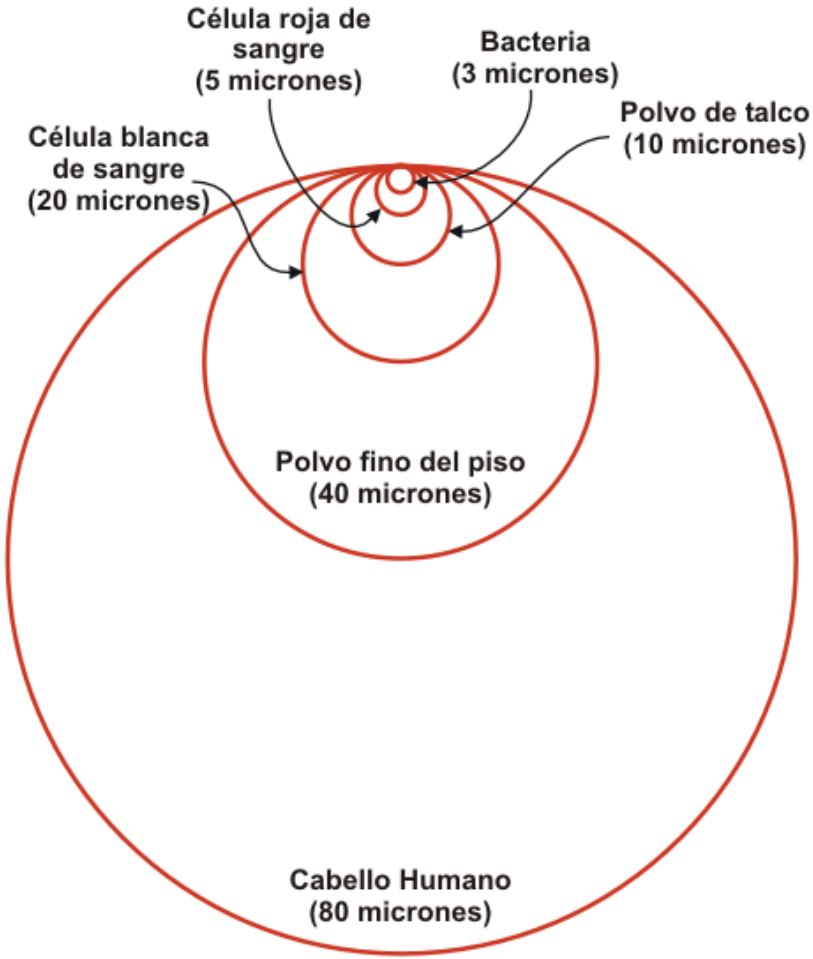
(c) designa el "calibrado certificado" conforme a ISO 11171, trazable a NIST

* Nota: cada incremento en el número de clase significa el doble del nivel de contaminación.

Conteo de Partículas

Ejemplo: Código ISO 20/17/13 $R_4 / R_6 / R_{14}$

Código de limpieza	N. partículas por cada 1 ml de muestra		Código de limpieza	N. partículas por cada 1 ml cc de muestra	
24	80 000	160 000	12	20	40
23	40 000	80 000	11	10	20
22	20 000	40 000	10	5	10
21	10 000	20 000	9	2,5	5
20	5 000	10 000	8	1,3	2,5
19	2 500	5 000	7	0,64	1,3
18	1 300	2 500	6	0,32	0,64
17	640	1 300	5	0,16	0,32
16	320	640	4	0,08	0,16
15	160	320	3	0,04	0,08
14	80	160	2	0,02	0,04
13	40	80	1	0,01	0,02



Tamaño		Número típico de partículas en 1 ppm
Micrones	Pulgadas	
3	0.00012	1036
5	0.0002	584
10	0.0004	183
20	0.0008	36
40	0.0016	5
80	0.0032	1

Mientras más Grande es la partícula ...

... Hay menos partículas

Microns = micrómetros
1,000,000 microns = 1 metro
25,400 microns = 1 pulgada

Objetivos de limpieza típicos:

- Rodamiento de bolas 16/13/11
- Rodamiento de Rodillos 17/14/12
- Caja de engranes ind. 18/15/12
- Caja de engranes móvil 18/16/13
- Motor a diesel 18/16/13

DAÑO PRODUCTO DE LA CONTAMINACIÓN

Contaminante	Cambios en la química del aceite	Cambios en las propiedades físicas del aceite	Químicamente atacan la superficie de la maquinaria	Mecánicamente destruyen la superficie de la maquinaria
Sólidos	Oxidación — Agotamiento de aditivos	Efectos de la viscosidad	Barniz adherente	Abrasión — Fatiga de la superficie
Agua	Oxidación — Agotamiento de aditivos	Efectos de la viscosidad	Destrucción ácida Herrumbre	Cavitación — Rayado
Combustible	Agotamiento de aditivos — Aromáticos	Bajo punto de inflamación — Baja viscosidad — Incremento de presión de vapor	Acido sulfúrico	Pérdida de la resistencia de película
Glicol (anticongelante)	Oxidación — Lodo	Incremento de la la viscosidad	Herrumbre y Corrosión	Pérdida de la resistencia de película
Aire	Oxidación	Oxidación	Incremento de la acidez	Cavitación
Calor	Degradación térmica — Oxidación	Incremento de la viscosidad	Barniz — Acidez	Pérdida de la resistencia de película

Cuadro 6.2: Rangos aceptables de cantidad de partículas contaminantes en máquinas usadas en la industria

Máquina	Fe	Cr	Al	Pb	Cu	Si
Motores Diesel	3-150	0-20	2-20	3-50	5-65	1-15
Motores a nafta	25-300	2-25	2-40	10-75	10-80	1-15
Motores a gas natural 2 tiempos	1-40	0-4	0-10	0-20	2-30	0-9
Motor gas natural 4 tiempos	5-80	0-19	1-20	3-40	3-50	1-15
Hidráulicos de equipo fuera carretera	1-20	0-9	1-10	1-15	2-20	1-15
Mandos finales	25-300	0-9	1-10	10-75	10-200	5-45
Diferenciales	50-600	2-20	1-40	10-100	15-250	5-65
Transmisiones de potencia automática	10-100	0-10	3-50	10-350	10-350	5-90
Transmisión manual	30-400	2-15	1-40	10-75	15-100	5-50
Componente de tornillo rotatorio	3-30	0-4	0-4	0-20	3-39	0-14
Aire acondicionado centrífugo	0-20	0-1	0-1	0-40	0-30	0-3
Turbinas a gas	0-20	0-4	0-3	0-3	0-15	0-5
Engranajes industriales	3-150	0-4	1-20	3-40	10-80	5-65
Hidráulicos industriales	0-10	0-1	0-2	0-10	0-10	0-10

6.6. Filtros

Se usa tres tipos de denominaciones cuando se refiere a filtrado de partículas.

Tasa Nominal

Una medida arbitraria en micras, basada en el porcentaje de remoción de contaminantes, indicada por el fabricante del filtro - No es representativa por su falta de reproducibilidad-

Tasa Absoluta

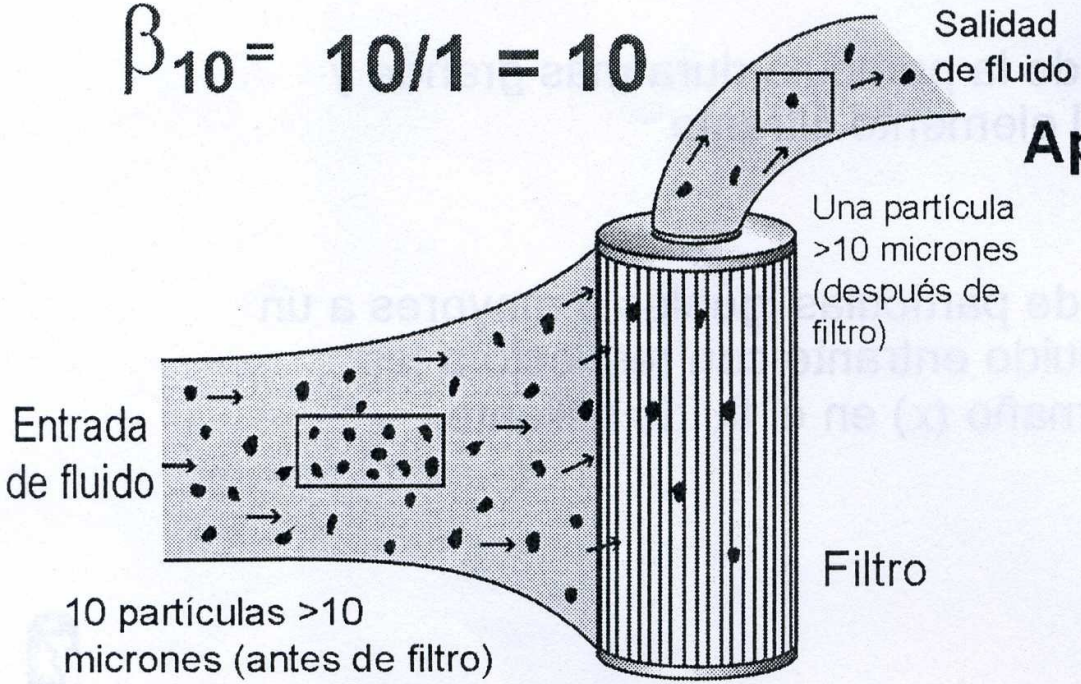
El tamaño en micrones de la partícula dura más grande y esférica que pasa por el elemento filtrante

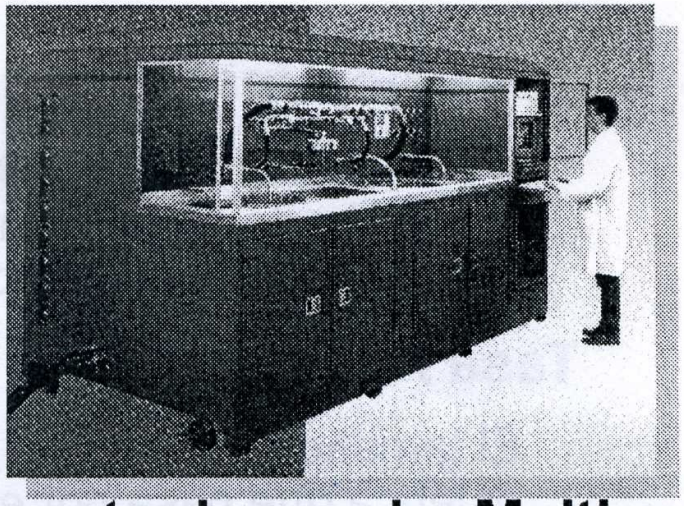
Tasa Beta ($ß_x$)

El cociente del número de partículas iguales o mayores a un tamaño dado (x) en el fluido entrante con respecto a las partículas del mismo tamaño (x) en el fluido saliente.

$$\beta_x = \frac{\text{No. de partículas mayores que x micrones antes de filtro}}{\text{No. de partículas mayores que x micrones después de filtro}}$$

$$\beta_{10} = 10/1 = 10$$



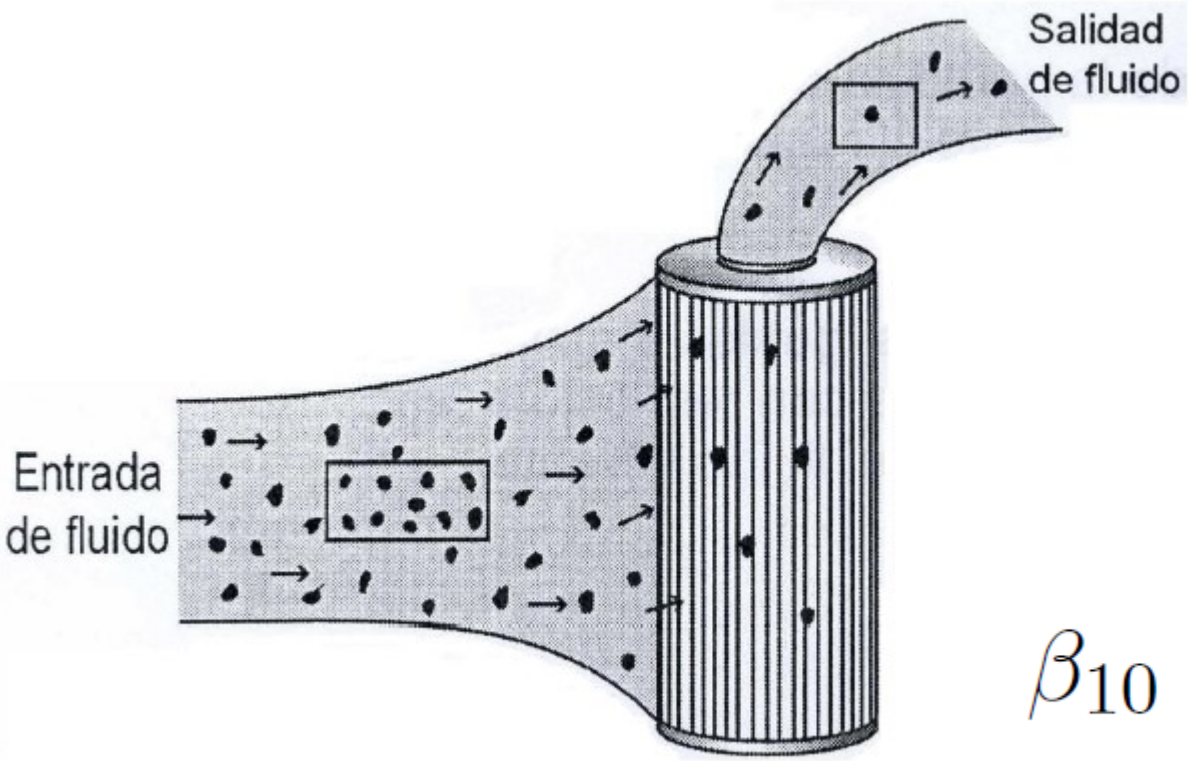


Aparato de prueba Multipass

$$\% \text{ Eficiencia} = \frac{\beta - 1}{\beta} \times 100$$

6.6. Filtros

Se usa tres tipos de denominaciones cuando se refiere a filtrado de partículas.



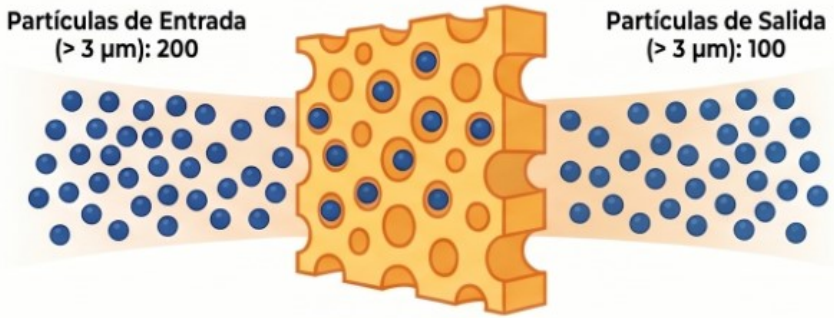
$$\beta_{10} = \frac{10}{1} = 10$$

Entendiendo la Eficiencia de Filtración: La Relación Beta (β)

Cómo esta métrica determina la capacidad de un filtro para retener partículas contaminantes.

Comparativa de Eficiencia en Filtros

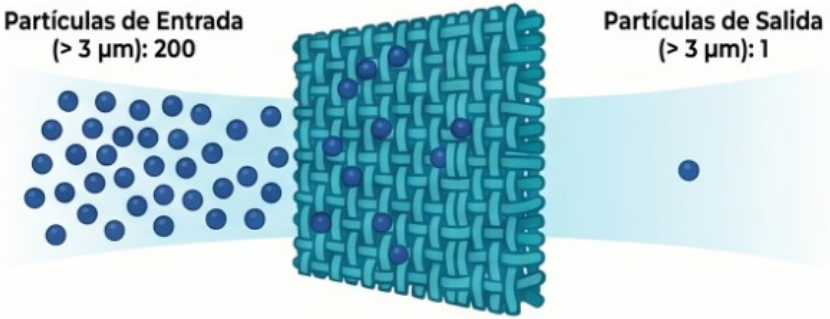
Filtro de Baja Eficiencia (β = 2)



Valor Beta (β_3): 2

De 200 partículas entrantes, 100 atraviesan el filtro, eliminando solo el 50%.

Filtro de Alta Eficiencia (β = 200)

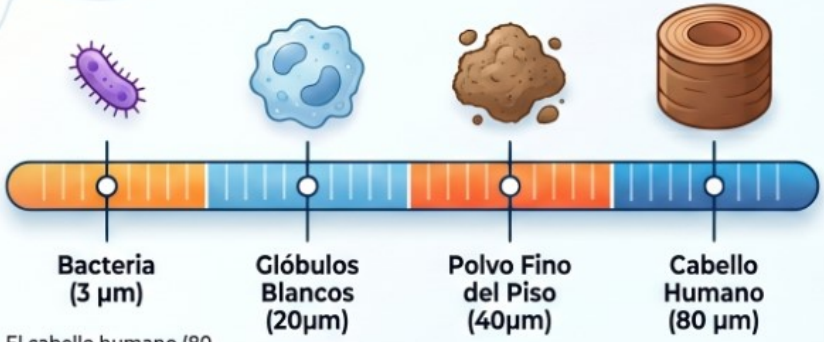


Valor Beta (β_3): 200

De 200 partículas entrantes, solo 1 logra pasar, demostrando una retención superior.

El Mundo Microscópico: Escala y Frecuencia de Partículas

COMPARATIVA DE TAMAÑOS RELATIVOS



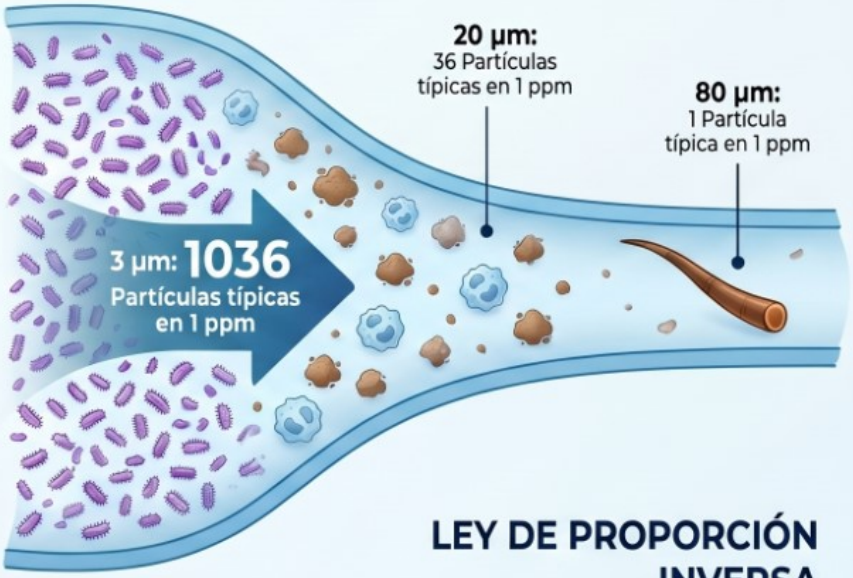
El cabello humano (80 micrones) es 26 veces más grande que una bacteria (3 micrones).

Partículas Orgánicas e Inorgánicas:
Incluye desde glóbulos blancos (20µm) hasta polvo fino del piso (40µm).

¿Qué es un Micrón?

1 millón de micrones = 1 metro
25400 micrones = 1 pulgada

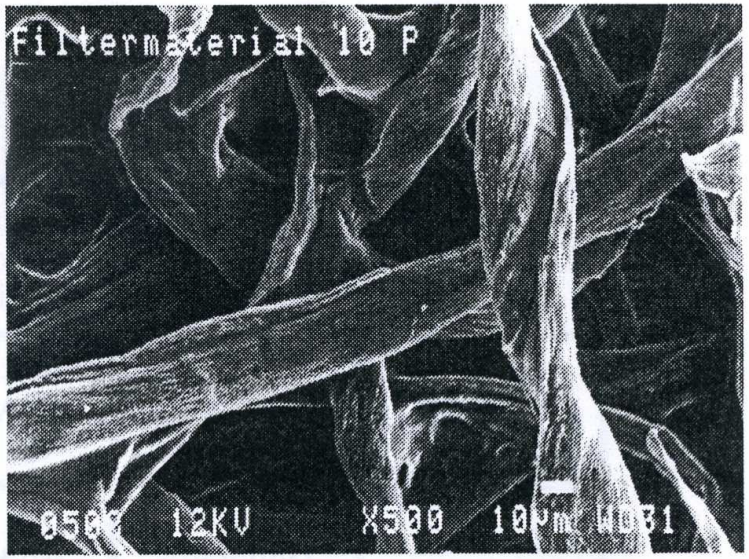
RELACIÓN TAMAÑO VS. CANTIDAD



LEY DE PROPORCIÓN INVERSA

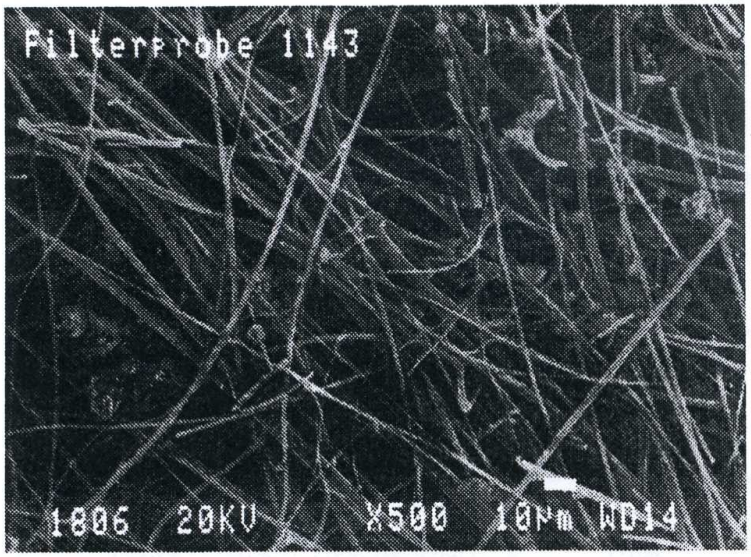
Mientras más grande es la partícula, menos cantidad de ellas se encuentran presentes.

Celulosa (pulpa de papel)



- El Medio se obtura por el tamaño de la fibra
- Porosidad inconsistente
- Absorbe agua
- Sujeto a la fatiga y a la falla por alta temperatura

Fibra de vidrio



- Más poros por pulgada cuadrada
- Tamaño de poro consistente
- Mayor capacidad de retención de tierra
- Tolerante a altas temperaturas

Cuadro 6.3: Recomendaciones de filtrado para maquinaria diversa

Maquinaria	Valor de β
Rodamientos de bolas radiales y de empuje	$\beta_{1a3} = 200$
Rod. rodillos radiales y de empuje	$\beta_{1a6} = 200$
Cojinetes lisos (turbinas)	$\beta_3 = 200$
Cojinetes lisos (rodillos de laminación)	$\beta_6 = 200$
Reductores de velocidad	$\beta_{3a12} = 200$

Comparación de los tipos de filtros

Material de la media	Eficiencia de captura	Capacidad de retención de suciedad	Presión diferencial	Vida en un sistema	Costo Inicial
Fibra de Vidrio	Alta	Alta	Moderado	Alta	Moderado
Celulosa (papel)	Moderado	Moderado	Alto	Moderado	Bajo
Malla de alambre	Bajo	Bajo	Bajo	Moderado	Alto

Eficiencia Beta

Partículas entrantes	Partículas salientes			Relación Beta (x)	Eficiencia (x)
100,000 >(x) microns	50,000	$\frac{100,000}{50,000}$	=	2	50.0%
	5,000	$\frac{100,000}{5,000}$	=	20	95.0%
	1,333	$\frac{100,000}{1,333}$	=	75	98.7%
	1,000	$\frac{100,000}{1,000}$	=	100	99.0%
	500	$\frac{100,000}{500}$	=	200	99.5%
	100	$\frac{100,000}{100}$	=	1000	99.9%

6.7. Objetivos de limpieza

La idea es establecer un procedimiento que en el tiempo se traduzca en un camino hacia el mejoramiento contínuo. Un procedimiento propuesto en la literatura para establecer este objetivo final se puede rsumir de la siguiente forma:

- Establecer los objetivos para cada aceite lubricante y fluído hidráulico
- Usar recomendaciones de los fabricantes como valor de referencia para comenzar
- establecer objetivos de extensión de vida más restrictivo cada vez
- Considerar en ello el diseño de la maquinaria, su aplicación y sus influencias en la operación de la planta
- Propongase esto como una condición personal para asegurar su consecución. Los fabricantes y/o proveedores de equipos no pagan sus fallas.

16/13	Manual de servicio (especificaciones del fabricante)
14/11	Metas de confiabilidad
13/10	Metas de seguridad
12/9	Severidad ambiental

New Cleanliness Level (ISO Code)

Current Machine Cleanliness (ISO Code)	20/17	19/16	18/15	17/14	16/13	15/12	14/11	13/10	12/9	11/8	10/7
26/23	5 3 4 2.5	7 3.5 4.5 3	9 4 6 3.5	>10 5 6.5 4	>10 6 7.5 5	>10 7.5 8.5 6.5	>10 9 10 7	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 >10	>10 >10 >10 >10
25/22	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 3.5 4.5 3	9 4 5 3.5	>10 5 6.5 4	>10 6 8 5	>10 7 9 6	>10 9 10 7.5	>10 >10 >10 9	>10 >10 >10 >10	>10 >10 >10 >10
24/21	3 2 2.5 1.5	4 2.5 3 2	6 3 4 2.5	7 4 5 3	9 5 6.5 4	>10 6 7.5 5	>10 7 8.5 6	>10 8 9.5 7	>10 10 >10 8	>10 >10 >10 10	>10 >10 >10 >10
23/20	2 1.5 1.7 1.3	3 2 2.3 1.5	4 2.5 3 2	5 3 3.7 2.5	7 3.5 5 3	9 4 6 3.5	>10 5 7 4	>10 6 8 5	>10 8 10 6.5	>10 9 >10 8.5	>10 >10 >10 10
22/19	1.6 1.3 1.4 1.1	2 1.6 1.8 1.3	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 3.5 4.5 3	8 4 5.5 3.5	>10 5 7 4	>10 6 8 5	>10 7 10 5.5	>10 >10 >10 8.5
21/18	1.3 1.2 1.2 1.1	1.5 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.4	3 2 2.2 1.6	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 3.5 4.5 3	9 4 5 3.5	>10 5 7 4	>10 7 9 5.5	>10 10 10 8
20/17		1.3 1.2 1.2 1.05	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.4	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 4 5 3	9 5 6 4	>10 7 8 5.5	>10 9 10 7
19/16			1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.2 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 4 5 3.5	9 6 7 4.5	>10 8 9 6
18/15				1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	5 3 3.5 2.5	7 4.5 5.5 3.7	>10 6 8 5
17/14					1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.7	4 2.5 3 2	6 3 4 2.5	8 5 6 3.5
16/13						1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.3	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.8	4 3.5 3.7 3	6 4 4.5 3.5
15/12							1.3 1.2 1.2 1.1	1.6 1.5 1.5 1.4	2 1.7 1.8 1.5	3 2 2.3 1.8	4 2.5 3 2.2
14/11								1.3 1.3 1.3 1.2	1.6 1.6 1.6 1.4	2 1.8 1.9 1.5	3 2 2.3 1.8
13/10									1.4 1.2 1.2 1.1	1.8 1.5 1.6 1.3	2.5 1.8 2 1.6

Hydraulics and Diesel Engines	Rolling Element Bearings
Journal Bearings and Turbo Machinery	Gear Boxes and Other

Mobil ASSISTANCE — SERVICIO INTEGRAL DE ASISTENCIA EN LUBRICACION

SERVICIO DE ATENCION AL CLIENTE 800 207 007

Esso Mobil Support — ANALISIS DE ACEITE, EVALUACION DE EQUIPOS Y ASISTENCIA DE INGENIERIA EN LUBRICACION

Cliente	CELCO - PLANTA NUEVA ALDEA	Ingeniero Lub.	Carlos Zapata R.	Componente	UNIDAD HIDRÁULICA	Instalado en	PRENSA D0
Dirección	Ruta Itata Km. 21.	Fono/Fax	81918907	Marca	-	Marca	-
Ciudad	CHILLAN	Correo electr.	lzapata@copec.cl	Modelo	-	Modelo	-
Atención Sr.	Ariel Rojas	Laboratorio	Fono (32)206616 Fax (32)206632	Lubricante en uso	MOBIL DTE 27		
Fono/Fax	41-2862006	Faena	N.A. FIBRA 1	Capacidad Sist. lts.	850	Cod. Inscripción	547-791133

DATOS DE LA MUESTRA

Nº Interno Laboratorio	2011123450	2011133066	2011135005	2011139078	2011141958
Muestra Nº	40	41	42	43	44
Fecha de Muestreo	13-07-2011	26-09-2011	12-10-2011	16-11-2011	12-12-2011
Fecha de Recepción	15-07-2011	29-09-2011	14-10-2011	18-11-2011	15-12-2011
Fecha Informe	15-07-2011	30-09-2011	15-10-2011	19-11-2011	16-12-2011
Hrs/Kms Servicio Compon.	0	0	0	0	0
Hrs/Kms Servicio Aceite	0	0	0	0	0
Rellenos Lts.	0	0	0	0	0
Producto según etiqueta	DTE 27	DTE 27	DTE 27	DTE 27	DTE 27

GRAFICO DE CONDICIÓN

Muestra Nº	2011123450	2011133066	2011135005	2011139078	2011141958
X Acción inmediata					
X Pronto					
✓ Normal					

VISCOSIDAD ■ DESGASTE ● CONTAMINACIÓN ▲

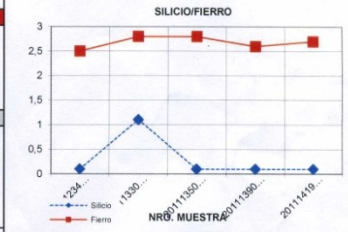
RESULTADOS DE ANÁLISIS

Análisis Físico Químico e Infrarrojo	2011123450	2011133066	2011135005	2011139078	2011141958	Límites
Viscosidad a 40ºC, cSt	92,41	93,37	93,25	94,56	94,3	76,5 - 126,5
Viscosidad a 100ºC, cSt						
Punto de Inflamación ºC						
Dilución x Combustible %						
PQ Index (Index Number)						
Agua % Vol	NSD	NSD	NSD	NSD	NSD	Max = 0,09
T.B.N. mgKOH/gr						
T.A.N mgKOH/gr	1,15	1,12	1,13	1,18	1,12	
Insolubles 0,3/1,2/5,0 mcs						
Hollín						
Oxidación Abs/cm	1			1	1	Max = 10
Nitración Abs/cm						

Espectometría de Absorción/Emisión Atómica		2011123450	2011133066	2011135005	2011139078	2011141958	Límites
Desgaste							
Fierro (Fe)	ppm	2,5	2,8	2,8	2,6	2,7	Max = 50
Cobre (Cu)	ppm	23,7	23	23,9	24,4	25	Max = 30
Plomo (Pb)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Aluminio (Al)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Estaño (Sn)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Plata (Ag)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Cromo (Cr)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Niquel (Ni)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Molibdeno (Mo)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Titanio (Ti)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Contaminación							
Silicio (Si)	ppm	0,1	1,1	0,1	0,1	0,1	Max = 20
Sodio (Na)	ppm	12,1	13,6	15,1	14,5	16,6	
Potasio (K)	ppm	2,6	1,2	1	1,4	0,9	
Boro (B)	ppm	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Vanadio (Va)	ppm						
Aditivos							
Magnesio (Mg)	ppm						
Calcio (Ca)	ppm	33	42	48	49	39	
Fósforo (P)	ppm	420	490	469	490	455	
Cinc (Zn)	ppm	597	631	625	666	603	
Bario (Ba)	ppm						

Conteo de Partículas	2011123450	2011133066	2011135005	2011139078	2011141958	Límites
>4 Micras	2242,6	1408,2	17001,3	3883	2218,6	Max = 1299
> 6 Micras	635,9	637,8	5054,8	1123,5	502,7	Max = 319
>14 Micras	93,3	10	163,4	46,7	10	Max = 39
> 25 Micras	6,6	0	3,3	3,3	0	
>50 Micras	0	0	0	0	0	
> 100 Micras	0	0	0	0	0	
Código de Limpieza	18/16/14	18/16/11	21/20/15	19/17/13	18/16/11	17/15/12

GRAFICOS DE TENDENCIAS



EVALUACION ULTIMA MUESTRA

Código ISO 4406 supera al máximo recomendado para el equipo. Verificar estado de los filtros, condición del estanque de almacenamiento.

COPEC Primera en servicio

CERTIFICACIÓN ISO 9001-2000 Emitido por BUREAU VERITAS

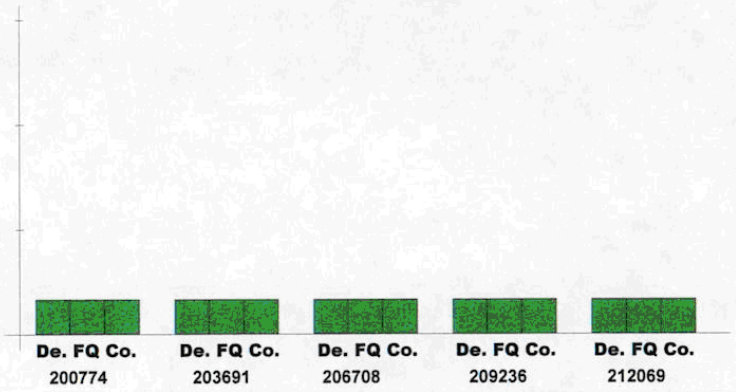
Empresa: **Radomiro Tomic**
Código Cliente: **451**
Dirección:
Avenida Nueva Oriente 2696
Fax: **(55) 366937**

Unidad Número: **UNIDAD REDUCTORA-2**
Equipo: CORREA MINERAL GRUES
Componente: **RE**
Marca y Modelo:
Tipo de Aceite: **OMALA OIL 220**

INFORMACION BASICA / EVOLUCION DE LOS ANALISIS

Número de Orden					
Número de Muestra	200774	203691	206708	209236	212069
Fecha Toma de Muestra	21/9/01	24/10/01	23/11/01	22/12/01	24/1/02
Fecha Recepción	24/9/01	25/10/01	26/11/01	24/12/01	25/1/02
Fecha de Diagnóstico	25/9/01	25/10/01	26/11/01	26/12/01	25/1/02
Km/Hrs Componente					
Km/Hrs Aceite	720	1512	2232	2928	3720
Rellenos, Lts.					

GRAFICA DE CONTROL



DIAGNOSTICO ULTIMA MUESTRA

Sintomas:
Aceite se encuentra en buenas condiciones fisico-químicas. Niveles de desgaste y contaminación ambiental se encuentran en rangos normales de trabajo. Viscosidad del aceite se encuentra normal.

Causas:
No se observan contaminantes internos o externos que estén alterando las condiciones de trabajo del aceite y/o de los componentes de la unidad analizada.

Acciones:
Aceite puede continuar usándose. Se recomienda enviar nueva muestra de aceite de acuerdo al programa establecido

RESULTADOS DEL ANALISIS

Número de Muestra:		A. Nuevo	200774	203691	206708	209236	212069
ESPECTROGRAFIA VIA PLASMA (FINE) - ppm							
Fierro	Fe	0	1	1	1	1	1
Cromo	Cr	0	0	0	0	0	0
Niquel	Ni	0	0	0	0	0	0
Molibdeno	Mo	0	0	0	0	0	0
Aluminio	Al	0	0	0	0	0	0
Cobre	Cu	0	1	3	2	4	3
Estaño	Sn	0	0	0	0	0	0
Plomo	Pb	0	0	0	0	0	3
Plata	Ag	0	0	0	0	0	1
Titanio	Ti	0	0	0	0	0	0
Silicio	Si	3	0	0	0	0	0
Boro	B	0	0	0	0	0	0
Potasio	K	0	1	0	0	0	1
Sodio	Na	1	0	0	0	0	0
Vanadio	V	0	0	0	0	0	1
Magnesio	Mg	0	1	0	0	0	1
Calcio	Ca	0	5	0	1	0	1
Zinc	Zn	2	3	0	0	0	1
Fósforo	P	406	399	419	377	373	300
Bario	Ba	0	0	0	0	0	2
ANALISIS INFRARROJO Y FISICO - QUIMICO							
Oxidación	A°/cm	0.00	0	0	0	0	0
Nitración	A°/cm	0.00	0	0	0	0	0
Sulfatación	A°/cm	0.00	0	0	0	0	0
Hollín	A°/cm	0.00	0	0	0	0	0
Combustible	% vol.	0.00	0	0	0	0	0
Refrigerante	% vol.	0.00	0	0	0	0	0
Agua	% vol.	0.00	0	0	0	0	0
K. Fisher	ppm	0	0	0	0	0	0
TBN	mg KOH/ gr	0.00	0	0	0	0	0
TAN	mg KOH/ gr	0.65	0	0	0	0	0
Visc. 40° C	cSt	220.00	218.9	224.6	220	219.4	226.7
Visc. 100° C	cSt	19.00	0	0	0	0	0
IV		97.00	0	0	0	0	0
CONTADOR DE PARTICULAS							
> 5	um	0	0	0	0	0	0
> 10	um	0	0	0	0	0	0
> 15	um	0	0	0	0	0	0
> 25	um	0	0	0	0	0	0
> 30	um	0	0	0	0	0	0
> 50	um	0	0	0	0	0	0
> 100	um	0	0	0	0	0	0
ISO > 5		0	0	0	0	0	0
ISO > 15		0	0	0	0	0	0
ISO Limpieza							

SDE
Servicio Diagnóstico de Equipos

EMPRESA	: CIA.MINERA CANDELARIA S.A	LUGAR DE TRABAJO	: MINA CANDELARIA
		UNIDAD NUMERO	: PALA 4100 #20
CODIGO CLIENTE	: 56	EQUIPO	: PALA P&H-4100 #20
DIRECCION	: EQUIPOS MINA	COMPONENTE	: TR.HOIST
FAX	: 52/236653	MARCA Y MODELO	: P&H 4100
ATENCION SR.	: PATRICIO MOYA/RODRIGO PORCILE	CAPAC. DE ACEITE	:
JEFE DE ZONA	: CMCIS15	TIPO DE ACEITE	: BEL RAY GEAR 200 ISO

INFORMACION BASICA	EVOLUCION DE LOS ANALISIS				
NUMERO DE ORDEN					2
NUMERO DE MUESTRA					192714
FECHA TOMA DE MUESTRA					0/0/
FECHA RECEPCION					15/6/01
FECHA DE DIAGNOSTICO					18/6/01
KMS/HRS COMPONENTE					
KMS/HRS ACEITE					
RELLENOS. LTS.					

GRAFICA DE CONTROL

DESGASTE	CORRECCION
ESTADO FISICO-QUIMICO	
CONTAMINACION	NORMAL

DIAGNOSTICO					A

DIAGNOSTICO ULTIMA MUESTRA

SINTOMAS: Elementos de desgaste se encuentran fuera de rangos normales de trabajo. Existe contaminación con polvo ambiental dentro de la muestra de aceite. Viscosidad se encuentra baja. El nivel de limpieza del aceite se encuentra alto. Nivel de Mo.?

CAUSAS: Desconocidas las horas de uso del aceite....? Creemos que nivel de Mo, es atribuible a la composicion del aceite usado... Para anØlisis de Espuma se necesita aproximadamente 1 lt.de aceite(Pta.Salinas).Ferrografia Analitica estØ pendiente

ACCIONES: Se recomienda cambiar aceite a la unidad, enviar nueva muestra de aceite, para controlar tendencia de desgaste fierro y Cu. Es recomendable eliminar toda contaminación con silicio (filtraciones). Chequear origen de lecturas de Fe y Cu

p. Shell Chile S.A.C. e I.

(R) : ACCION CORRECTIVA (A) : PRECAUCION (V) : NORMAL

A

RESULTADOS DEL ANALISIS

	NUMERO MUESTRA	A. NUEVO					192714
	ESPECTROGRAFIA VIA PLASMA (FINE) - ppm						
DESGASTE	Fierro - Fe	0					397
	Cromo - Cr	0					2
	Niquel - Ni	0					3
	Molibdeno - Mo	0					105
	Aluminio - Al	0					115
	Cobre - Cu	0					6
	Estaño - Sn	0					1
	Plomo - Pb	0					2
	Plata - Ag	0					0
	Titanio - Ti	0					0
CONTAMINA	Silicio - Si	0					33
	Boro - B	0					5
	Potasio - K	0					6
	Sodio - Na	0					8
	Vanadio - V	0					0
ADITIVOS	Magnesio - Mg	0					4
	Calcio - Ca	000000					9
	Zinc - Zn	0					16
	Fósforo - P	0					304
	Bario - Ba	0					1
	ANALISIS INFRARROJO Y FISICO - QUIMICO						
	OXIDACION - A°/cm						
	NITRACION - A°/cm						
	SULFATACION - A°/cm						
	HOLLIN - A°/cm						
	COMBUSTIBLE - % vol.						
	REFRIGERANTE - % vol.						
	AGUA - % vol.						0
	K. FISHER - ppm.						0
	TBN - mg KOH/ gr						
	TAN - mg KOH/ gr						
	VISC@ 40° C - cSt	0.00					540.1
	VIS @ 100° C - cSt	0.00					
	IV	0.00					
	CONTADOR DE PARTICULAS						
	> 5 µm						97950
	> 10 µm						30130
	> 15 µm						12460
	> 25 µm						3340
	> 30 µm						1980
	> 50 µm						390
	> 100 µm						30
	ISO >5						97950
	ISO >15						12460
	ISO LIMPIEZA						24/21

CONVERTIS S.A. 1-135 6/0001 - 042001 M9S5400039

SDE
Servicio Diagnóstico De Equipos

Shell

Maipú, 25 de Junio 2001

INFORME DE ANALISIS DE FERROGRAFIA

EMPRESA	CIA MINERA CANDELARIA	**EQUIPO N°**	PALA 4100 #20 TR. HOIST
ATT. SR.	Manuel Pastene	**SERIE**	
FAX		**HRS (KMS) COMPONENTE**	Sin información
FECHA MUESTRA	Sin información	**HRS (KMS) ACEITE**	Sin información
MUESTRA N°	192714	**LUBRICANTE**	BEL RAY GEAR 200 ISO 680

FERROGRAFIA ANALITICA

DILUCION ANALITICA 1:10

TIPO DE PARTICULAS	NINGUNA	TRAZAS	POCAS	MODERADO	MUCHAS
Partículas Desgaste Normal Fricción					■
Partículas Desgaste Severo					■
Partículas Desgaste por Corte	■				
Terrones		■			
Partículas Laminares	■				
Partículas Esféricas	■				
Partículas Oxidos Metálicos Obscuros	■				
Partículas Oxidos Rojos	■				
Partículas Desgaste por Corrosión	■				
Partículas Metálicas no Ferrosas				■	
Part. No metálicas Birrefringentes Inorgánica (Silice)					■
Part. No metálicas Birrefringentes Orgánica	■				
Partículas No Metálicas Amorfas	■				
Polímeros de Fricción Normal	■				
Fibras	■				
Otras	■				

DIAGNOSTICO

NORMAL	PRECAUCION	ANORMAL
		■

Elementos comunes observados

Elemento	Desgaste	Contaminación	Aditivo
Hierro (Fe)			
Cobre (Cu)			
Estaño (Cr)			
Aluminio (Al)			
Plomo (Pb)			
Silicio (Si)			
Sodio (Na)			
Boro (Bo)			
Calcio (Ca)			
Magnesio (Mg)			
Zinc (Zn)			
Fósforo (P)			
Molibdeno (Mo)			
Potasio (K)			

Contaminación Externa: Si, Na, Bo, Ca y Mg
Desgaste anormal: Fe, Cu, Cr, Sn, Al y Pb

Reporte de Servicio Análisis de Aceite
COMASA S.A. – Planta Lautaro

CLEAN OIL
BRIGHT IDEAS

Fecha Realizacion Servicio	**24 de Febrero de 2015**
Fecha Enterga Reporte	**10 de Marzo de 2015**
Lugar	**Lautaro Región de la Araucania**

Cliente		**COMASA S.A. – Planta Lautaro**			
Persona Solicitante del Servicio		**Wilfred Munzenmayer – Jefe Area Mecánica**			
Lugar de Instalacion		**TURBINA SNM-2**			
Trabajo Realizado		**Servicio Análisis de Aceite en Laboratorio OTI**			
Modelo Equipo		Serie			
Motobomba		Serie		Flujo (Lt/Hr.)	
Calefactor		Producto Filtrado		**MOBIL DTE 846 ISO VG 46**	
Volumen	**Variados**	Tipo de Filtros/Sellos			
Visita Solicitada por		Fecha de Visita Solicitada			

Trabajos Realizados:

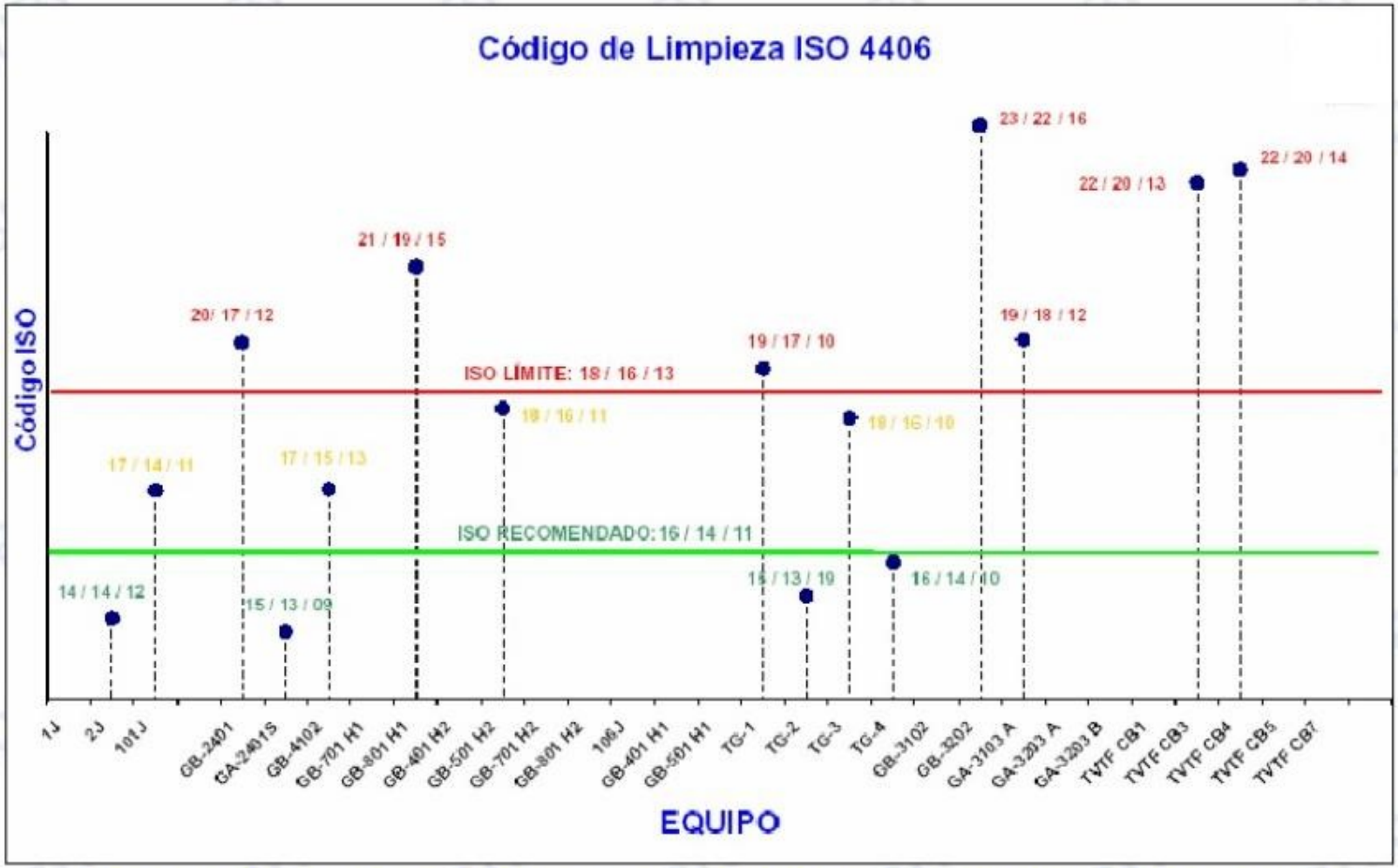
En esta oportunidad muestras de aceite entregadas por cliente.

Recomendaciones:

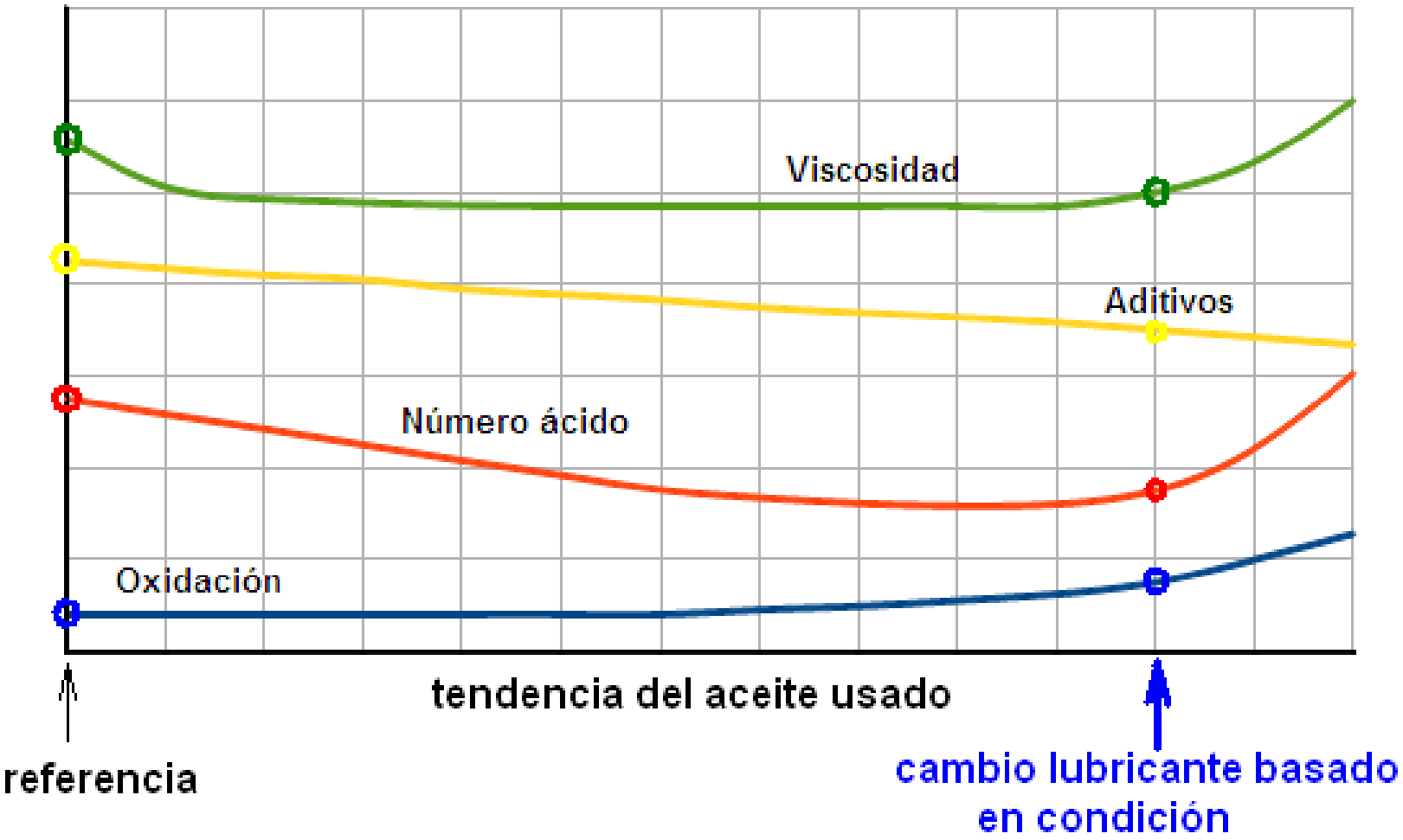
En atención a Informe de Análisis de Aceite entregado por Laboratorio OTI Santiago, se entregan
valores Código ISO 4406 de muestras de aceite enviadas por cliente. Muestras de aceite
presentan bajo nivel de material particulado y se encuentran con un código de limpieza acorde a
este tipo de aplicaciones, por lo que se sugiere mantener los valores actuales.
El color oscuro del aceite se debe a la temperatura que alcanza este en el descanso posterior de la
Turbina, lo que produce que se generen barnices, Equipo CJC puede estabilizar estos inicialmente
con cambio de filtros cada 2 meses hasta estabilizar el sistema, por lo que se sugiere considerarlo.

Código ISO Turbomaquinaria

Programa de Análisis en Refinería PEMEX



Mediante el Análisis de Aceite se pueden identificar los Equipos para realizar un Turboclean durante el paro programado


Viscosidad
Aditivos
Número ácido
Oxidación
tendencia del aceite usado
referencia
cambio lubricante basado en condición

ENEX MOVEMOS CHILE

Macro Distribuidor Lubricantes Shell

CODELCO CHILE

Localización:	CODELCO EL TENIENTE... > CODELCO EL TENIENTE (FUN) > Grea No1
Identificación de la unidad:	**Reductor Levante ppal**
Modelo:	Codelco - Puente Grea
Tipo de máquina:	Industrial Gearbox

Elementos de desgaste se encuentran dentro de parámetros normales de operación. Se mantiene presencia de polvo ambiental (silicio) en el lubricante. La presencia de Silicio puede incrementar los elementos de desgaste en el lubricante. Viscosidad y TAN se encuentran dentro de rangos normales. Código de limpieza elevado para este tipo de componente, se recomienda realizar microfiltrado del lubricante para disminuir el código de limpieza del aceite.
Por favor envie una nueva muestra para controlar principalmente tendencia del Silicio en el lubricante.

Diego Flores R. - Diagnosticador LubeSDE , 04 ene 2013

Lubricante Shell Spirax HD 85W-140		Identificación de la muestra	43BC3F (M12)	3B68A4 (L13825)	35608D (L7154)	3463D4 (L7099)	2EBFF5 (L997)
Nota: 1018905		Fecha de muestreo	21 dic 2012	21 ago 2012	15 may 2012	07 may 2012	10 ene 2012
		Fecha de recepción lab	02 ene 2013	03 sep 2012	18 may 2012	17 may 2012	10 feb 2012
		h Componente					
		h Lubricante					
		Relleno					
		Límites de alerta	▲	▲	◆	▲	▲
	ISO(>4µm)		26	27	27	26	25
	ISO(>6µm)		24	25	24	24	23
	ISO(>14µm)		20	21	18	19	19
	Código ISO 4406/99		26/24/20	27/25/21	27/24/18	26/24/19	25/23/19
	Partículas >4µm	part./ml	520258	953198	1008500	406581	312004
	Partículas >6µm	part./ml	138541	173651	110682	105283	70403
	Partículas >14µm	part./ml	7294	13191	1465	3581	3085
	Código NAS 1638		12	12	12	12	
	Partículas 5-15 µm	part./100	13124700	16046100	10921700	10170200	
	Partículas 15-25 µm	part./100	223542	296028	124255	169022	
	Partículas 25-50 µm	part./100	188411	512553	17927	121874	
	Partículas 50-100 µm	part./100	304673	460133	4327	65385	
ASTM D7596-10 e							

CODELCO CHILE

Identificación de la unidad:	Reductor Levante ppal	Identificación de la muestra	43BC3F (M12)
Modelo:	Codelco - Puente Grosa	Fecha de muestreo	21 dic 2012
Tipo de máquina:	Industrial Gearbox	Fecha de recepción lab	02 ene 2013

Análisis de partículas y clasificación por forma con LaserNet Fines-C
Método: ASTM D7526-10 e ISO 4406:1999. Análisis se refiere a partículas >20 µm

Conteo partículas de corte

(Posible causa: Partículas extremadamente duras rayan la superficie)

Escala 63:1N (1 cm igual a 158µ00B5M)

144.3 part./ml

Conteo partículas deslizamiento

(Posibles causas: Contacto entre superficies metálicas, altas cargas, lubricación insuficiente)

Escala 63:1N (1 cm igual a 158µ00B5M)

375.2 part./ml

Conteo particulas fatiga

(Posibles causas: Sobrecarga, vibraciones, impactos mecánicos, largos intervalos de drenaje)

Escala 63:1N (1 cm igual a 158µ00B5M)

1404.6 part./ml

Solo una parte de las partículas son mostradas

LubeSDE

CODELCO CHILE		Identificación de la muestra	43BC3F (M12)
Identificación de la unidad:	**Reductor Levante ppal**	Fecha de muestreo	21 dic 2012
Modelo:	Codelco - Puente Groea	Fecha de recepción lab	02 ene 2013
Tipo de máquina:	Industrial Gearbox		

Análisis de partículas y clasificación por forma con LaserNet Fines-C
Método: ASTM D7526-10 e ISO 4406:1999. Análisis se refiere a partículas >20 µm

Conteo partículas no metálicas

(Oxidos, cristales, material amorfo, tribopolímeros y otras contaminaciones sólidas)

Escala 63:1N (1 cm igual a 158µ00B5M)

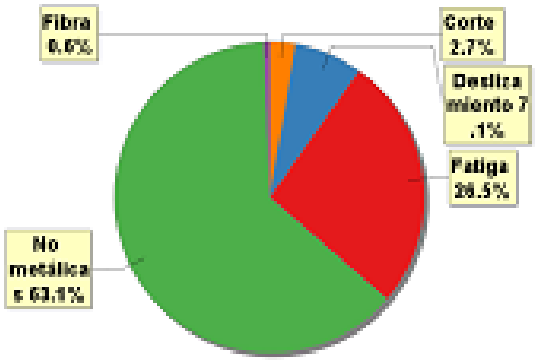
3342.2 part./ml

Solo una parte de las partículas son mostradas

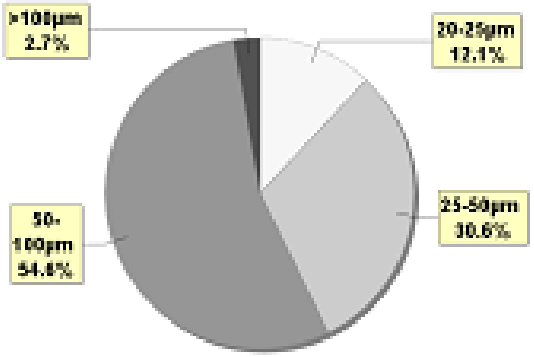
Conteo de Fibra

Escala 83:1N (1 cm igual a 158µ00 B5M)

32.7 part./ml



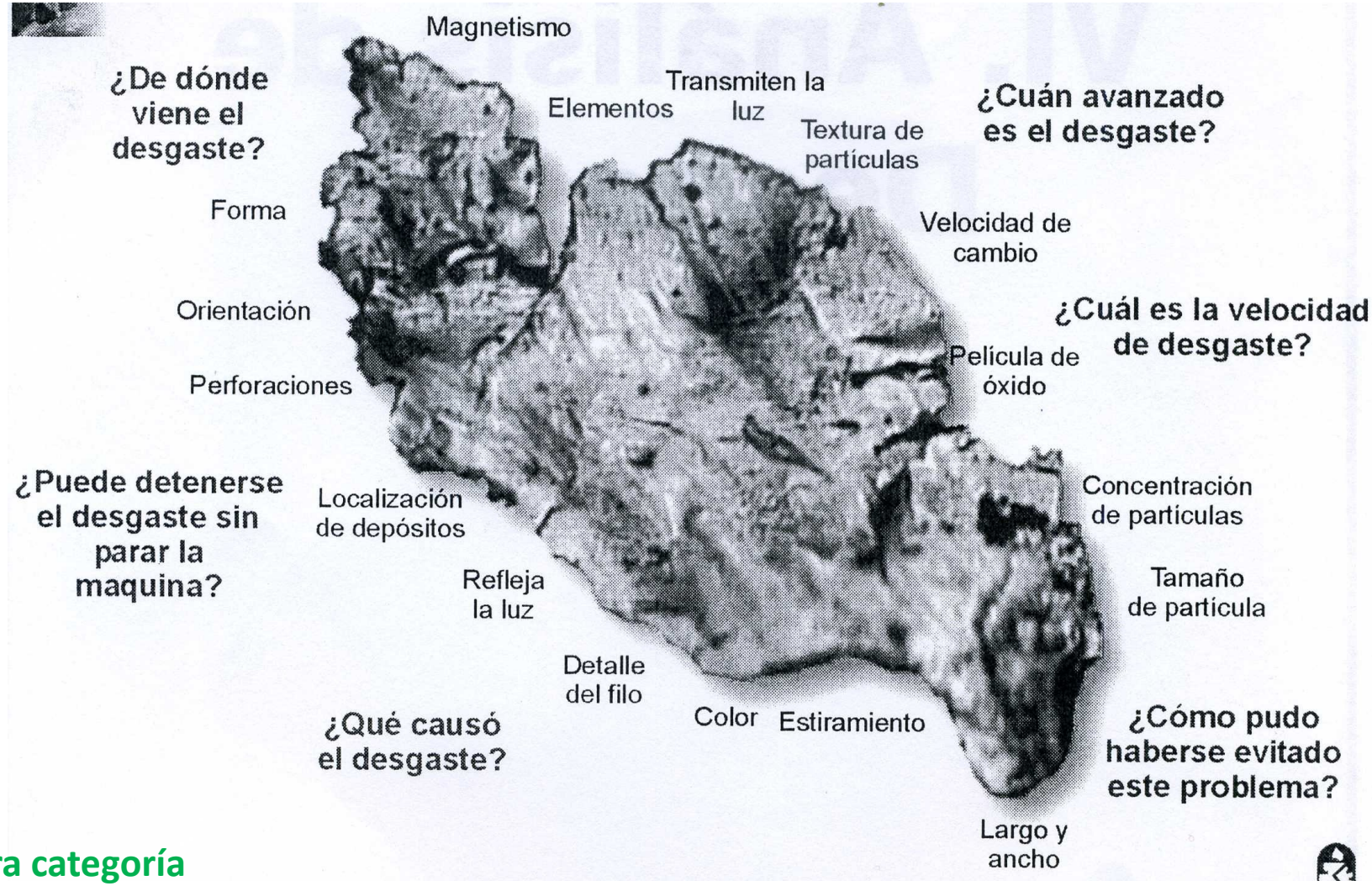
Clasificación por forma



Distribución por tamaño

DESGASTE

Partículas de desgaste



3era categoría

El ADN del Desgaste: Diagnóstico a través de Partículas

El análisis de partículas de desgaste es una técnica diagnóstica que utiliza las propiedades físicas y morfológicas de los residuos encontrados en lubricantes para determinar la salud de la maquinaría.

Atributos Críticos de la Partícula

Morfología y Dimensiones

Se analiza la forma, orientación, largo, ancho y el tamaño de la partícula.

Propiedades Ópticas y Superficiales

El color, magnetismo, textura, reflexión de luz y presencia de perforaciones son indicadores clave.

Detalles de los Bordes

Filo

El detalle del filo y el estiramiento revelan el tipo de fricción ocurrida.

Preguntas Clave del Diagnóstico

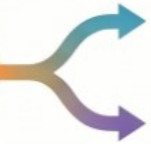
Origen y Causalidad

Identifica de dónde proviene el desgaste y qué evento especifico lo provocó.

Severidad y Velocidad

Determina cuán avanzado está el daño y qué tan rápido está progresando.

Acciones de Mitigación



Evalúa si el desgaste puede detenerse sin parar la máquina y cómo prevenirlo.

Guía Visual: Análisis de Partículas de Desgaste y Contaminación

El análisis microscópico y mediante SEM (Microscopía Electrónica de Barrido) permite identificar la morfología y composición de residuos en lubricantes. Estos hallazgos revelan condiciones de desgaste severo, sobrecalentamiento o contaminación externa en motores y bombas.

PARTÍCULAS DE DESGASTE METÁLICO

DESGASTE FERROSO SEVERO

Esferas y partículas con colores de temple indican temperaturas extremadamente elevadas en el motor.

FRAGMENTOS DE FATIGA

Partículas oscuras y alineadas magnéticamente que señalan sobrecalentamiento y fatiga del material.

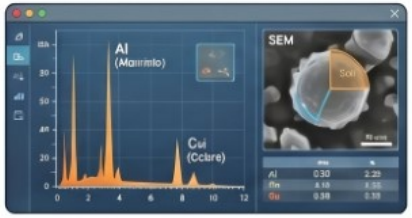
PARTÍCULAS DE CORTE

Virutas en forma de espiral generadas por el contacto abrasivo entre componentes móviles.

CONTAMINANTES EXTERNOS Y DIAGNÓSTICO

CONTAMINACIÓN POR MANTENIMIENTO

Presencia de fibras textiles procedentes comúnmente de trapos de limpieza usados por mecánicos.



MICROANÁLISIS SEM/EDS

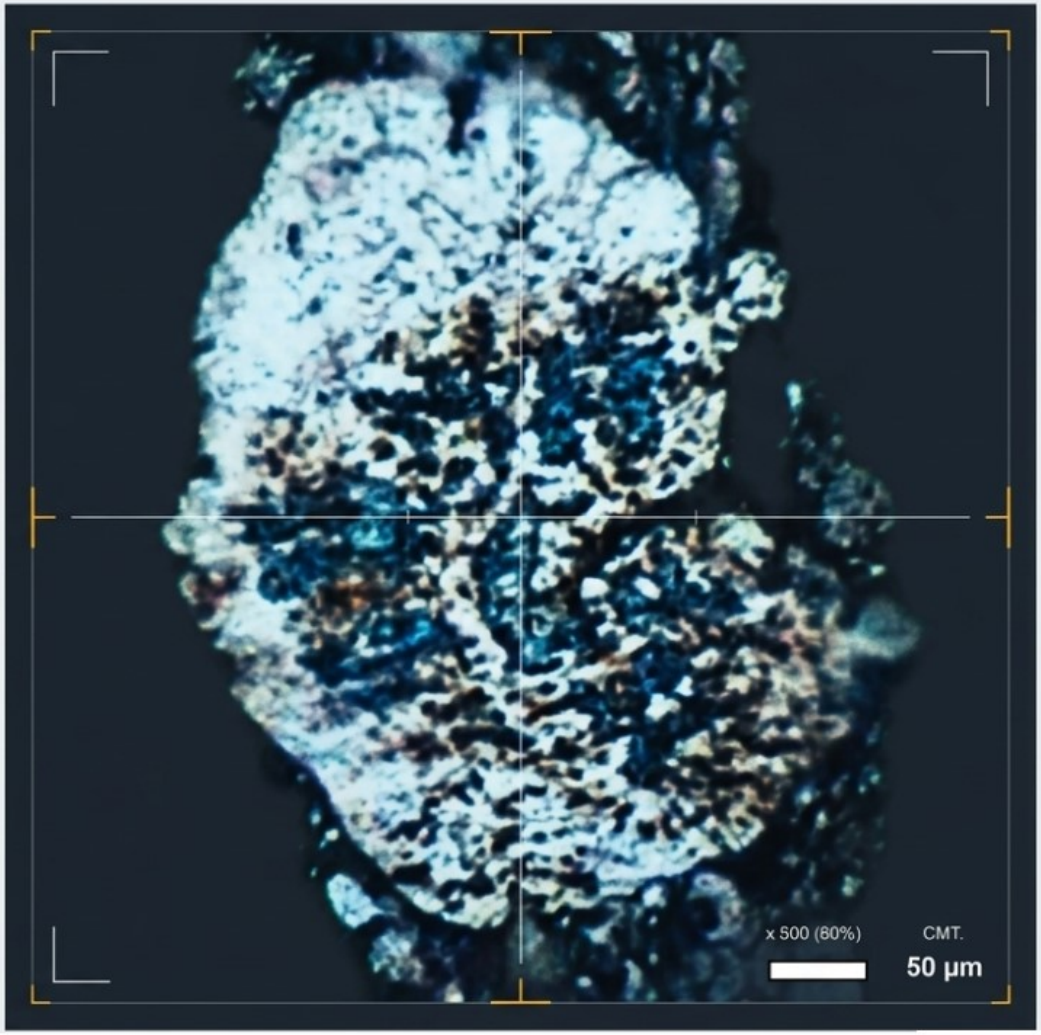
Técnica avanzada para identificar la composición química exacta, como partículas de aluminio o cobre.

POLVO MINERAL Y FIBRAS

Contaminantes ambientales que aceleran el desgaste si penetran en el sistema de lubricación.

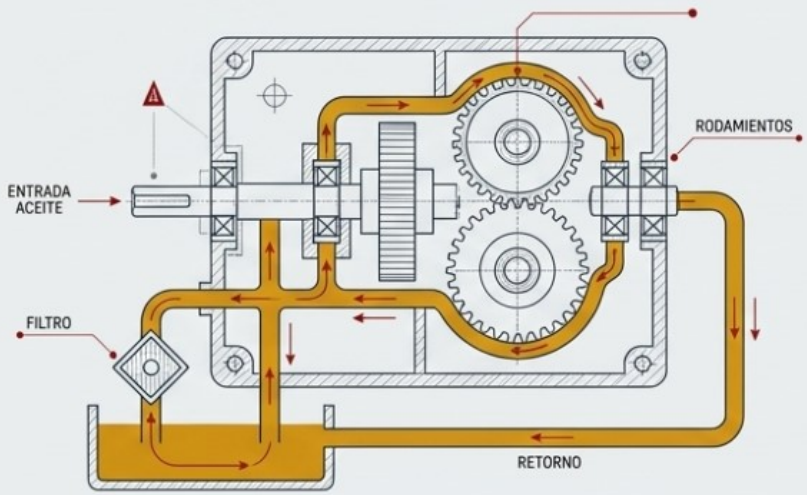
El Microcosmos del Desgaste Mecánico

Guía Visual de Diagnóstico Tribológico



> ALGORITMO DE IDENTIFICACIÓN VISUAL
Análisis de Aceite y Filtros | Ferrografía y Espectrometría EDX

La Escena del Crimen: El Aceite Lubricante



EL PRINCIPIO: El aceite no solo lubrica; transporta la evidencia. Cada falla mecánica deja una huella dactilar morfológica en el lubricante.

DATOS: HUELLA: ÚNICA | TRANSPORTE: ACTIVO

EL OBJETIVO: Identificar la causa raíz del fallo (fricción, temperatura, contaminación) antes de la falla catastrófica del componente.

DATOS: CAUSA RAÍZ: FRICCIÓN, TEMP, CONTAM | PREVENCIÓN: CRÍTICA

LA HERRAMIENTA: Análisis de la morfología, tamaño, color y composición de las partículas retenidas en aceites y filtros.

DATOS: PARÁMETROS: MORFOLOGÍA, TAMAÑO, COLOR, COMPOSICIÓN

ESCALA: 50 µm | 100 µm	MAG: x500 (15%)	CMT: M-4T7	TIPO: FATIGA ALINEADA

Fragmento de fatiga alineado por el campo magnético junto a otras partículas ferrosas de menor tamaño.

Falsos Positivos: Aislado de la Contaminación Externa

Fibras Textiles

Translúcidas, largas y retorcidas.

Origen: Trapos de limpieza dejados por mecánicos. (No es desgaste).

Polvo Mineral

Cristales amorfos, semi-transparentes o blanquecinos.

Origen: Ingreso de tierra/sílice por sellos defectuosos o respiraderos. Agente altamente abrasivo.

Desgaste Real

Fragmento metálico (cobre). Opaco, con estructura definida.

Morfología Ferroso I: Desgaste por Corte (Abrasión)

[LENTE ÓPTICO - FERROGRAFÍA]

[MICROSCOPIO ELECTRÓNICO SEM - x220]

Forma:	Virutas (chips), espirales o rizos largos y curvados. Similares a los residuos de un torno industrial.
Mecánica de Daño:	Penetración y corte. Partículas duras (como polvo mineral) o asperezas metálicas que aran y cortan la superficie de un metal más blando.
Veredicto:	Abrasión severa. Requiere revisión inmediata de la filtración y posibles contaminantes externos.

Morfología Ferroso II: Desgaste por Fatiga

Forma:

Láminas o fragmentos irregulares.

El Fenómeno Visual:

Alineación Magnética. Las partículas ferrosas se polarizan y se agrupan en cadenas siguiendo las líneas de campo magnético durante el análisis.

Mecánica de Daño:

Fatiga por contacto rodante (ej. rodamientos). Microgrietas subsuperficiales que eventualmente liberan fragmentos metálicos al lubricante.

El Espectro Térmico: Colores de Temple por Fricción

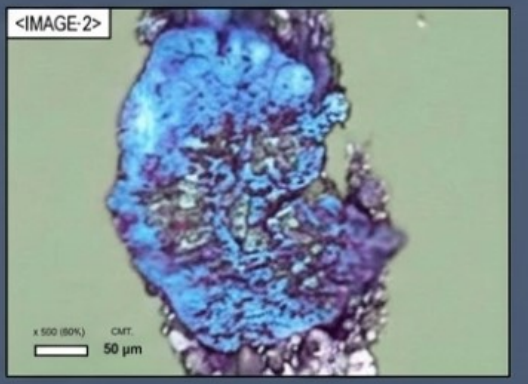
TRIBOLOGICAL THERMOMETER

<IMAGE 0>

Estado Base: Fractura mecánica estándar. Reflejo metálico plateado.

<IMAGE 1>

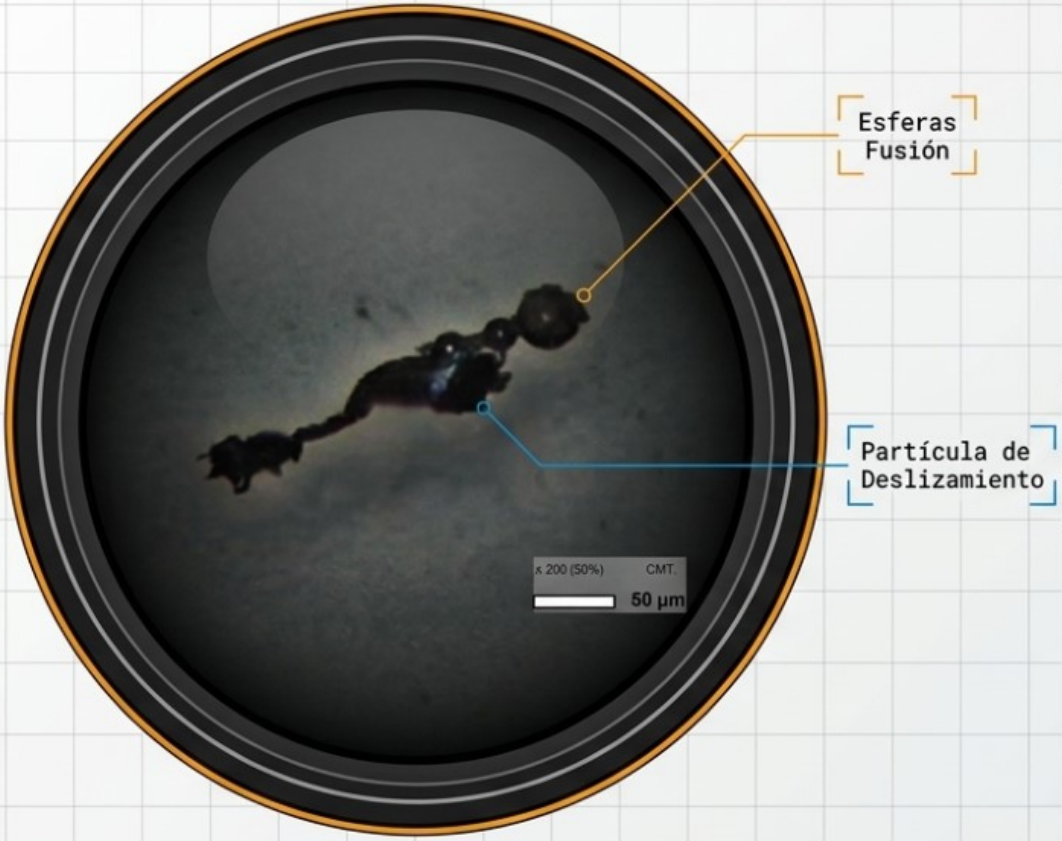
Fricción Elevada: Las partículas se oscurecen. Evidencia de sobrecalentamiento localizado en la zona de desgaste.



<IMAGE 2>

Calor Crítico (Azulamiento): La partícula muestra coloración azulada/púrpura. El acero ha sufrido temple debido a temperaturas extremas en el punto de contacto.

Severidad Térmica Extrema: Fusión y Esferas



Morfología:

Esferas perfectas acompañadas de partículas de deslizamiento.

Coloración:

Presentan marcados colores de temple (oscuros, azulados, cobrizos).

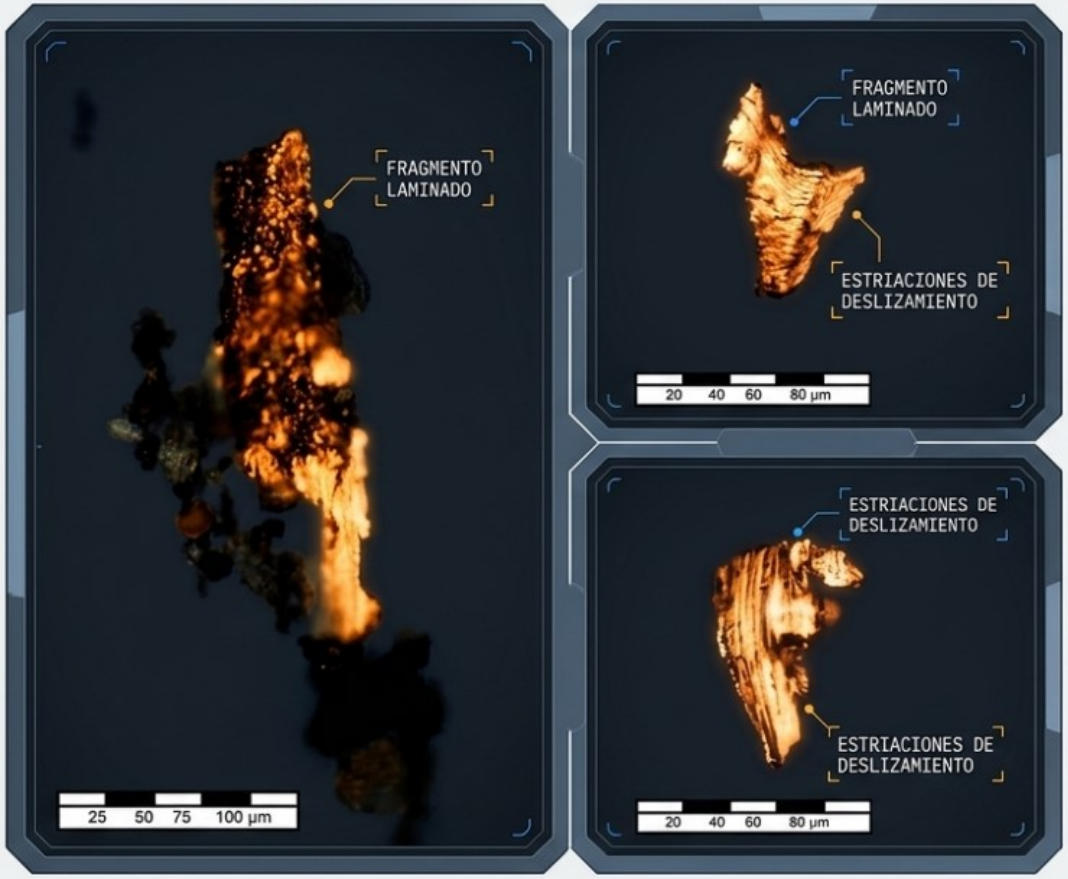
Diagnóstico de Causa Raíz:

DESGASTE SEVERO DEL MOTOR.

Explicación Física:

La temperatura de fricción fue tan alta que el metal llegó a su punto de fusión. Al ser expulsado al torrente de aceite más frío, el metal líquido se solidificó instantáneamente en forma esférica.

Metales No Ferrosos: Desgaste por Deslizamiento (Cobre)



Firma Visual:

- Coloración dorada, rojiza o cobriza brillante. Ausencia de alineación magnética.

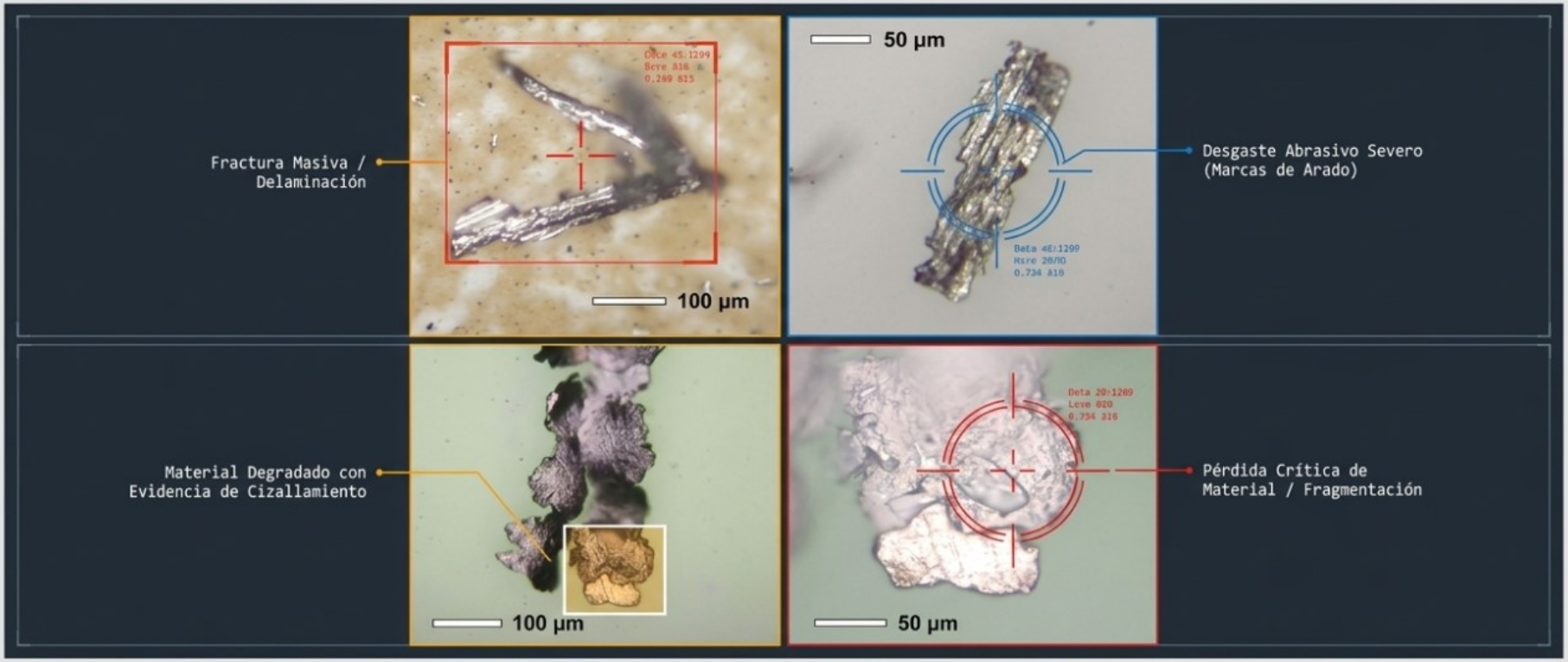
Morfología:

- Típicamente fragmentos laminados o estriados generados por deslizamiento bajo carga.

Componentes Sospechosos:

- Cojinetes, bujes de bronce, arandelas de empuje o jaulas de rodamientos. Actúan como metales de sacrificio para proteger componentes ferrosoos más duros.

Patología de Sistemas Específicos: Bomba de Alta Presión



El Escenario:
Las bombas de alta presión combinan tolerancia cero, alta carga y mezcla de materiales.

Análisis del Cuadrante:
Múltiples morfologías presentes simultáneamente. Se observa desgaste abrasivo severo (marcas de arado profundas) junto con fracturas masivas y delaminación.

Diagnóstico:
Falla catastrófica inminente por pérdida de película lubricante o cavitación destructiva.

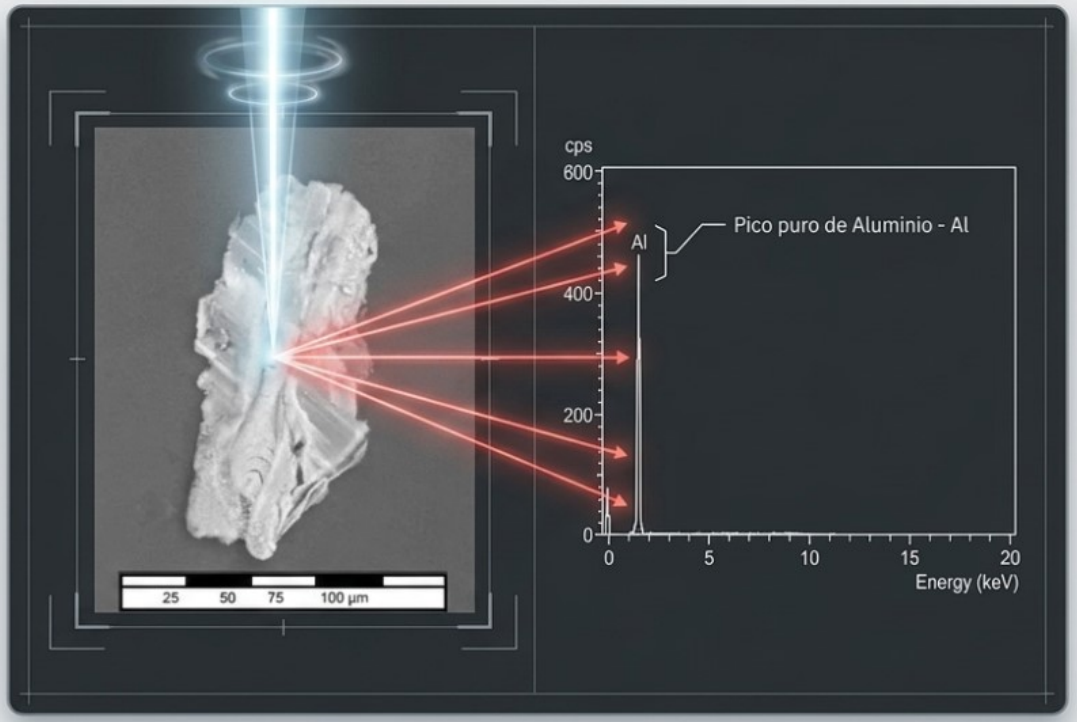
Más Allá de la Luz: Microanálisis SEM/EDX

El Límite Óptico:

La ferrografía revela la mecánica del desgaste, pero no siempre la aleación exacta.

Microscopía Electrónica de Barrido (SEM):

Permite realizar un microanálisis de partículas en el aceite y filtros con resolución sub-micrométrica.

Espectrometría EDX:

El haz de electrones excita la partícula, provocando la emisión de rayos X. Cada elemento químico emite una energía única (keV), generando un código de barras elemental irrefutable.